

Petri Tapaninaho

Sähkö- ja hybridaajoneuvojen eristysvastus- mittaukset, sähkötyöturvallisuus sekä Bosch FSA 050 -mittalaite

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Autosähköinsinööri

Insinöörityö

10.5.2013

Tämä työ tehtiin Robert Bosch Oy:lle. Haluan kiittää ohjaajiani Vesa Turusta ja Tuomas Saarta työn tilaamisesta ja työn toteuttamisen mahdollistamisesta. Haluan myös kiittää tiedon, materiaalin ja aineiston hankinnassa avustaneita: Juha Seppälää ja Arto Lehtistä (Diagno Finland Oy), Frans Malmaria (AEL), Jimi Haavistoa ja Mikko Leinosta (Toyota Kaivoksela, Toyota Tsusho Nordic Oy), ohjaajaani Vesa Linja-ahoa (Metropolia AMK) ja ennen kaikkea Björn Jungebrandia (Alppilan Autohuolto Oy), kenen tuen ja kannustuksen avulla olen alalla päässyt alkuun.

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Petri Tapaninaho Sähkö- ja hybridi ajoneuvojen eristysvastusmittaukset, sähkötyöturvallisuus sekä Bosch FSA 050 -mittalaite 65 sivua + 2 liitettä 10.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori, Vesa Linja-aho Autoteollisuuden jälkimarkkinoinnin markkinointipäällikkö, Vesa Turunen, Robert Bosch Oy
<p>Insinööriytyön tavoitteena oli esitellä ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmien mittaamisen mahdollistava Bosch FSA 050 -mittalaite, mittausten menetelmiä, sekä vaatimuksia, joita mittausten suorittaminen edellyttää. Työssä tarkastellaan myös mittalaitteen käyttöön olennaisesti liittyviä Bosch ESI[tronic] 2.0- sekä CompacSoft[plus] -ohjelmistoja.</p> <p>Insinööriytyö toteutettiin kirjallisuus tutkimuksena, johon sisältyi käytännön mittauksia. Mittalaitteen avulla voitiin tutkia huoltojen yhteydessä ajoneuvovalmistajien ja turvallisuussäädösten edellyttämiä korkeajännitemittauksia, kuten jännitteettömyyden tarkistaminen ja eristysvastusmittaukset. Mittaukset toteutettiin mittalaitteen ja Toyota Prius W20 -mallisen hybridi ajoneuvon avulla. Työssä käsitellään myös muihin hybridi ajoneuvomalleihin liittyviä mittausteknisiä aiheita, kuten käytännön eroja huoltoerottimien ja erotuskytkimien välillä sekä toimintatapojen poikkeavuuksia. Aiheesta saatavilla oleva tieto on hyvin teoriapainotteista sillä suuri osa lähteistä käsittelee teollisuussovelluksia. Sen vuoksi työhön hankittiin myös käytännön näkemystä keskusteluilla alan ammattilaisten kanssa.</p> <p>Työn lopputuloksena voidaan todeta, että ajoneuvoihin liittyvät korkeajännitepiirien mittaukset asettavat rajoittavia vaatimuksia niin yksittäisen henkilön kuin yrityksenkin toiminnalle. Mittausten suorittaminen on aiemmin rajoittunut ainoastaan merkkikohtaisiin korjaamoihin laitteiston ja ohjeistuksen rajoitetun saatavuuden vuoksi. Yleismittari-tyyppisen mittalaitteen ja mallikohtaisen ohjeistuksen avulla myös monimerkkikorjaamot voivat osallistua kysynnältään kasvavaan sähkö- ja hybridi ajoneuvoihin liittyviin huoltotoimenpiteisiin.</p>	
Avainsanat	eristysvastus, hybridi, sähköauto, bosch, prius, korkeajännite

Author(s) Title Number of Pages Date	Petri Tapaninaho Insulation Resistance Measurement from an Electric and Hybrid Vehicle and Bosch FSA 050 Measuring Module 65 pages + 2 appendices 10th May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor(s)	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer Vesa Turunen, Sales Manager, Automotive Department, Robert Bosch Oy
<p>The aim of this thesis was to introduce Bosch FSA050 measuring module which provides a possibility to conduct high voltage measurements in electrical vehicles, to study different measuring methods and name the requirements that are expected to be fulfilled by the staff in order to gain authority to provide service in the field of electric vehicle maintenance. This thesis had also an objective of introducing the software which is relevant to the operation of the measuring module, such as Bosch ESI[Tronic] 2.0 and CompacSoft[plus].</p> <p>This thesis was conducted mainly as a theoretical research, which involved some measurements in practice. The measuring module provided a possibility to conduct high voltage measurements required by the stringent safety regulations and car manufacturers. There are compulsory high voltage measurements such as checking the voltage after removing the service plug and insulation resistance measurements. The measurements were carried out with the Bosch FSA050 measuring module and with a Toyota Prius W20 hybrid vehicle. This thesis also contains information about other vehicle brands and models, since the required procedures differ between vehicle brands and models. The information about this topic is mainly theoretical since the only material that could be used was from industrial applications, so it was determined that an addition of practical point of view by the help of professionals of electrical vehicles was needed.</p> <p>As a result of this thesis it can be pointed out that the measurements needed to be conducted with electrical vehicles create restrictions for both individuals and for the company. So far it has only been a privilege of the authorized workshops to provide such service because of the measuring modules which were not available for all workshops and the manuals required in order to conduct the measurements properly were not shared. Until now with this conventional measuring module and the following instructions it is possible for smaller workshops to participate in the world of electrical vehicle maintenance.</p>	
Keywords	Insulation resistance, hybrid, electric vehicle, Bosch

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähkön sekä sähköautotekniikan perusteet	3
2.1	Sähköoppi	3
2.1.1	Sähkövaraus	3
2.1.2	Sähkökenttä ja sähkövirta	3
2.1.3	Jännite	4
2.1.4	Resistanssi ja impedanssi	4
2.1.5	Sähköteho	5
2.1.6	Rinnankytkentä ja sarjaankytkentä	5
2.1.7	Kondensaattori ja kapasitanssi	6
2.1.8	Tasasähkö ja vaihtosähkö	7
2.1.9	Sähkön vaikutukset ihmiseen	7
2.2	Hybridiajoneuvot	8
2.2.1	Hybridiajoneuvojen tekniikat	9
2.2.2	Rinnakaishybridi	9
2.2.3	Sarjahybridi	10
2.2.4	Jaetun tehon hybridi (sekahybridi)	10
2.2.5	Range extender	11
2.2.6	Plug-in-hybridi	12
2.2.7	Akusto	12
2.2.8	Invertteri	13
2.3	Sähköajoneuvot	14
2.4	Sähköeriste	14
2.4.1	Sähköeristetyypit ja ominaisuudet	15
2.4.2	Kuluminen	15
2.4.3	Lämpörasitus	15
2.4.4	Sähköinen rasitus	16
2.4.5	Ympäröivät olosuhteet	16
2.4.6	Mekaaninen rasitus	16
2.5	Eristysvastusmittaus	17
2.5.1	Yleistä	17

2.5.2	Eristysvastuksen mittausmenetelmiä	21
2.6	Sähköturvallisuusluokitukset	22
3	Sähköturvallisuus	24
3.1	Edellytykset toiminnalle	24
3.2	Yksilötason vaatimukset	24
3.2.1	Sähköautopätevyys 3	25
3.2.2	Työkokemus ja koulutus	25
3.2.3	Sähköturvallisuustutkinto	26
3.2.4	SFS 6002	26
3.3	Sähköturvallisuus käytännössä	28
3.4	Turvallisuus poikkeustilanteissa	29
3.5	UNECE-R-100	31
3.6	Käytännön organisointi	31
4	Bosch FSA 050 -mittalaite	33
4.1	Korkeajännitejärjestelmien mittauksissa huomioitavaa	33
4.1.1	Mallikohtainen ohjeistus ja järjestelmän rakenteen tunteminen	33
4.1.2	Erotuskytkimien ja huoltoerottimien laatu	33
4.1.3	Mittalaitteiston tarkastaminen ennen mittauksia	34
4.1.4	Sähköturvallisuus	34
4.1.5	Jännitteettömäksi kytkiessä	34
4.1.6	Mittaustulosten tulkitseminen	35
4.2	Mittalaitteen perusominaisuudet	35
4.3	Mittalaitteen käyttö	36
4.4	Tuloksien tallentaminen, poistaminen, tarkistaminen ja lähettäminen	38
4.5	Jännitemittaus	39
4.6	Resistanssi ja yhteysmittaus	39
4.6.1	Resistanssin ja yhteyden mittaaminen	40
4.6.2	Yhteyksimittaus sähkö- ja hybridiajoneuvoissa	40

4.7	Kapasitanssin mitta	40
4.8	Eristysvastustesti	41
4.8.1	Yleistä	41
4.8.2	Manuaalinen eristystesti INS	42
4.8.3	T- eli aikaperusteinen testi	42
4.8.4	Dielektrisen absorptiovirransuhteen testi DAR	43
4.8.5	Polarisaatioindeksi testi PI	44
5	CompacSoft[plus]	45
5.1	Ohjelmisto ja FSA -tila	45
5.1.1	Toimenpiteet ennen mittauksia	46
5.1.2	Eristysmittaus	47
5.1.3	Korkeajänniteanalyysi	48
5.1.4	Vastus-, yhteys- ja kapasiteettimittaus	49
5.2	Tiedonsiirto ja STA-tilassa tehdyt mittaukset	49
6	ESI[tronic] 2.0	52
6.1	Diagnoosi	52
6.1.1	Vikamuistin luku	54
6.1.2	Mitatut arvot	55
6.1.3	Eriyistoiminnot	57
6.2	Vianetsintä eli ohjattu vianhaku SIS/CAS+	57
6.3	Viiteinfo	60
6.3.1	Sähköliitäntäkaavio	60
6.3.2	Sijaintipaikat sekä irrotus- ja asennusohjeet	61
6.4	Työprotokolla	61
7	Yhteenveto ja päätelmät	62

Lähteet

Liitteet

Liite 1. CAT -ylijänniteluokitukset

Liite 2. FSA 050 -mittalaitteen tarkemmat ominaisuudet

Liite 3. ESI[tronic] 2.0 -työprotokolla

Lyhenteet

UNECE	United Nations Economic Commission for Europe - Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio
DC	Direct Current - tasajännite/tasavirta
AC	Alternating Current - vaihtojännite/vaihtovirta
DAR	Dielectric Absorption Ratio - Dielektrinen absorptiosuhde
PI	Polarization index - Polarisaatioindeksi
INS	Insulation (resistance) - Eriste (eristysvastusmittaus)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers - Kansainvälinen tekniikan alan järjestö
IEC	International Electrotechnical Commission - Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
FSA	Ajoneuvoanalyysilaitteisto
STA	Stand-alone - Itsenäinen toimintatila
KTS	Ohjainlaitediagnoosi
SIS	Service information system - Vianetsintäopas
CAS	Computer aided system - Tietokoneavusteinen huolto

1 Johdanto

Työn tausta ja tarkoitus

Työn aiheena on sähkö- ja hybridiajoneuvoissa käytettävän korkeajännitejärjestelmän huoltotoimenpiteiden edellyttämät erikoistoimenpiteet ja vaadittavat mittalaitteet. Tarkoituksena on tuoda yleisesti esille korkeajännitejärjestelmän huoltotoimenpiteiden yhteydessä vaadittavia mittauksia, kuten eristysvastusmittaus ja siinä huomioon otettavat näkökohdat, lisäksi tarkastellaan Bosch FSA 050 -eristysvastusmittarin toimintaa ja ominaisuuksia korkeajännitejärjestelmien mittauksissa. Aiheeseen liittyvät myös yleistyvien sähkö- ja hybridiajoneuvojen vaatimat toimintatapamuutokset kuten sähkötyöturvallisuus, henkilöstövaatimukset ja huoltotoimenpiteet.

Korkeajännitteen kanssa toimiminen asettaa vaatimuksia henkilöstölle ja yritykselle. Työssä esitellään määräyksien ja säädösten pohjalta olennainen tieto. Henkilöstön kannalta täsmennetään, mitä vaaditaan koulutuksen ja kokemuksen osalta ja mitkä ovat yrityksen kannalta vaadittavat toimenpiteet korkeajännitetyöluvan eli urakointiluvan saamiseksi. Huoltotoimenpiteiden yhteydessä vaadittavat muutokset ja määräykset selvitetään asentajan kannalta selväksi. Työn pohjalta on tarkoitus laatia artikkeli alan lehteen. Työn tilaaja oli Robert Bosch Oy.

Työn toteutus ja aineisto

Tutkimuksessa on tavoitteellisesti pyritty pitämään yhteys käytäntöön, jotta jo valmiiksi sääntöjen ja määräysten hankaloittama aihe konkretisoituisi käytännön esimerkein ja kokemuksin. Työn toteutuksessa on hyödynnetty alan ammattilaisten kokemukseen perustuvaa tietoa, jotka on hankittu keskusteluilla ja koulutuksen yhteydessä. Lisäksi lähdeaineistona on käytetty määräyksiä, standardeja ja säädöksiä.

Sähkötyöturvallisuuden kannalta aineistoa on saatavilla kattavasti esimerkiksi Vesa Linja-ahon kirjasta Sähkö- ja hybridiajoneuvojen sähkötyöturvallisuus (2012). Kirjassa on esitelty myös henkilöstövaatimukset, mutta tarkemmin näihin pystyy perehtymään muun muassa SFS 6002 -standardin avulla.

Todellinen haaste tiedonhaussa oli eristysvastusmittaus, johon liittyvää materiaalia ei ajoneuvoihin liittyen ollut. Tämä lisäsi työn toteuttamiseen suunniteltua käytännön-läheisyyttä, sillä tieto on vielä suojeltua ja sidottu valmistajien ohjeistuksiin. Aluksi perehdyttiin mittauksen teoriaan ja siihen liittyviin säädöksiin, minkä jälkeen verrattiin, miten hyvin teoria ja käytäntö kohtaavat. Ainoat käytettävissä olevat rinnastettavat lähteet olivat teollisuuden suuria sähkökoneita, rakennusteollisuutta ja raideliikennettä käsittelevät julkaisut sekä tietenkin rajoitetut autovalmistajien korjaamokäsikirjat.

Bosch FSA 050 -mittalaitteen sekä Bosch KTS 570 -mittamoduulin käytännöllisyys ja ominaisuudet korkeajännitejärjestelmien mittauksissa tutkittiin Toyota Prius W20 -mallisen hybridiajoneuvon avulla.

Työssä esitellään aluksi teoriapohja ja perusteet. Tämän jälkeen esitellään sähkötyö-turvallisuuteen liittyviä käytännön esimerkkejä, määräysten tulkintoja sekä yksilötason vaatimuksia. Tämän jälkeen seuraavat FSA 050 -mittalaitteen ominaisuuksien läpi käyminen ja käytännön ohjeistus, CompacSoft[plus]-ohjelmiston ominaisuuksien esittely sekä ESI[tronic] 2.0 -ohjelmiston ominaisuuksien ja sen tarjoaman korkeajännite-järjestelmien diagnosoimiseen tarkoitetun ohjeistuksen arviointi.

2 Sähkön sekä sähköautotekniikan perusteet

2.1 Sähköoppi

Tässä työssä käsitellään muun muassa perinteistä polttomoottoriajoneuvoa korkeampia jännitetasoja omaavia hybridi- ja sähköajoneuvojärjestelmiä työturvallisuuden kannalta, joten on olennaista ymmärtää sähköopin perusteet ymmärtääkseen mahdolliset riskit ja velvollisuudet yleisen turvallisuuden kannalta. Seuraavissa luvuissa käsitellään yleisimmät ja olennaisimmat termit sähkön ymmärtämiseksi käsitteenä.

2.1.1 Sähkövaraus

Sähkövaraus tunnetaan myös nimellä staattinen sähkövaraus, joka muodostuu, kun kahta erilaista ainetta hangataan toisiinsa ja aineen ulkokehällä olevat elektronit siirtyvät aineesta toiseen. Aine, josta elektroneja poistuu, varautuu positiivisesti, ja aine, joka vastaanottaa, saa negatiivisen varauksen. Polariteettiero aiheuttaa hankaus-sähkön muodostumisen, joka ilmenee arkipäivän elämässä esimerkiksi, kun paitaa otetaan pois ja siitä syntyvä hankaus varaa paidan ja kehon, mikä ilmenee rätisevänä äänenä ja pienenä kipinäpölynä. Varaus voi olla hetkellisesti useita kilovoltteja, mutta lyhyen noin millisekuntien pituisen keston vuoksi se ei aiheuta vaaraa. [1, s. 7.]

2.1.2 Sähkökenttä ja sähkövirta

Kappaleen ollessa varautunut vaikuttaa se muihin ympärillä oleviin varauksiin vetämällä niitä puoleensa tai hylkimällä varauksen polariteetista riippuen. Tätä ilmiötä kutsutaan sähkökentäksi. [1, s. 7.]

Yhdistettäessä johtimen päät virtalähteeseen muodostuu päiden välille jännite-ero ja sähkökenttä. Johteen vapaat elektronit alkavat liikkua johtimessa sähkökentän suuntaan vastaan eli kohti lähteen positiivista napaa, ja tätä liikettä kutsutaan sähkövirraksi. Elektronin irrotessa atomista siirtyy se seuraavaan viereiseen atomiin, joka taas luovuttaa elektronin, ja saadaan aikaan ketjureaktion tapainen ilmiö. Reaktio jatkuu läpi lähteen, jonka toisesta navasta saadaan lisää elektroneja ja sähkövirta saadaan ylläpidettyä. Tätä ilmiötä saadaan ylläpidettyä niin kauan kuin piiri on suljettu ja lähteessä riittää energiaa. Virta ei häviä virtapiiristä, vaan Kirchhoffin virtalain mukaan

virta jakautuu solmupisteiden välillä, mutta on kuitenkin yhtä suuri sen tulo- ja lähtöpuolella. Virta on peruskomponenteista häiriötä aiheuttava. Se aiheuttaa johtimien lämpenemistä, sekä magneettikentän kautta kytkeytyviä häiriöitä, joten sen määrä pyritään pitämään alhaisena esimerkiksi korkeamman jännitteen (2.1.3) avulla. Sähkövirta on yksi SI-järjestelmän yksiköistä. Sen suuretta merkitään tunnuksella I ja sen yksikkö on ampeeri A. Virran määrä piirissä voidaan laskea käyttämällä Ohmin lakia $I = U / R$, eli virran määrä määräytyy jännitteen ja resistanssin (2.1.4) suhteen perusteella. [1, s. 11.]

2.1.3 Jännite

Varauksen sähkömäärän siirtämiseksi sähkökentän pisteestä toiseen vaaditaan työtä. Tehty työ varastoituu potentiaalienergiana, joka tunnetaan myös nimellä jännite. Tarkemmin sanottuna se on sähköinen potentiaaliero kahden pisteen välillä. Jännitteen tunnus on U ja yksikkö on voltti V. [1, s. 8.]

Yleisesti jännitetasot luokitellaan kolmeen eri osaan suuruusluokan perusteella. Alla olevassa taulukossa on esitetty jännitetasot sekä UNECE-R-100:n (ks. luku 3.3.2) mukainen määritelmä ajoneuvojen yhteydessä käytettävästä termistöstä. [2, s. 18; 3.]

Taulukko 1. Jännitetasot [2, s. 18; 3.]

Jännitetasot	
Pienoisjännite	alle 50 VAC tai 120 VDC
Pienjännite	alle 1000 VAC tai 1500 VDC
Suurjännite	yli 1000 VAC tai 1500 VDC
UNECE-R-100	> 30 VAC - ≤ 1000 VAC
korkeajännite	> 60 VDC - ≤ 1500 VDC

2.1.4 Resistanssi ja impedanssi

Lähtökohtaisesti kaikilla aineilla on sähkövirran kulkua vastustavaa resistanssia eli sähköistä vastustuskykyä. Arkikielisempi termi resistanssille on vastus, joka sanan alkuperäisessä tarkoituksessaan tarkoittaa virtapiireissä käytettävää komponenttia, mutta sitä silti näkee ja kuulee käytettävän ilmaisemaan resistanssia. Virtapiirien osissa

esiintyy resistanssia kaikkialla, minkä vuoksi on olennaista huomioida esimerkiksi käytettävän johtimen materiaali, sillä johtimen pituuden kasvaessa myös resistanssi kasvaa. Kappaleen läpi kulkeva sähkövirta on suoraan verrannollinen jännitteeseen, joka vaikuttaa resistanssiin kaavan $R = U / I$ mukaisesti (eli jänniteen suhde sähkövirtaan). Resistanssi kuvaa kykyä vastustaa tasavirran kulkua, joten esimerkiksi johtimien kannalta on olennaista huomioida materiaali ja johtimen pituus, jotta vältetään turhalta resistanssilta. [2, s. 19.] Yksinkertaistettuna vaihtosähkön yhteydessä resistanssi tunnetaan nimellä impedanssi, joka on kuitenkin käytännön ominaisuuksiltaan monimutkaisempi kuin resistanssi, minkä vuoksi sitä ei käsitellä tarkemmin tässä työssä.

2.1.5 Sähköteho

Virtapiiri edellyttää toimiakseen työtä, joka sähköopin termein tunnetaan nimellä sähköteho. Käytännön sovelluksilla termi voidaan selittää monelta eri näkökulmalta. Seuraavassa termiä käsitellään rinnastamalla se ajoneuvon polttoainejärjestelmän toimintaan. Polttoaineen siirtojärjestelmä pumppuineen on työtä tekevä osa, joka saa polttoaineen liikkumaan polttoainetankin ja moottorin välillä. Tämä osa voidaan sähkötermein käsittää jännitteenä. Työtä on turha tehdä, mikäli ei ole mitään, millä tehdä, eli pumppu voi pyöriä, mutta mitään ei välttämättä tapahdu. Toiminnan käynnistämiseksi tarvitaan toinen komponentti, polttoaine. Polttoainetankissa on paljon polttoainetta, mutta järjestelmä käyttää vain sen verran kuin moottori tarvitsee toimiakseen. Aivan kuten virta toimivassa virtapiirissä ei katoa mihinkään. Kun jännite käsitetään työtä tekevänä osana, voidaan polttoaine sähkötermein käsittää virtana, joka saa moottorin käymään. Tehon kaavaa $P = U \cdot I$ hyödyntäen, jossa P = teho eli käyvä moottori, U = jännite eli polttoainejärjestelmä ja I = virta eli polttoaine, voidaan todeta, että moottori ei käy, jos ei ole polttoainetta ja polttoaine ei liiku, jos ei järjestelmä toimi. Toisin sanoen ilman jännitettä ei ole virtaa.

2.1.6 Rinnankytkentä ja sarjaankytkentä

Rinnankytkennässä komponenttien yli vaikuttaa sama jännite, mutta virran määrä kasvaa komponenttien vaatimusten mukaisesti. Rinnankytkemisen hyötypuoleksi voidaan mainita rinnankytkettyjen komponenttien itsenäinen toiminta. Jos yksi komponentti rikkoutuu kytkennästä, se ei välttämättä vaikuta muiden toimintaan.

Hypoteettisena esimerkkinä valkoinen teholedi vaatii 3 V:n jännitteen ja 20 mA:n virran toimiakseen. Jos niitä kytketään kaksi rinnan, on jännite edelleen 3 V, mutta virran määrä on 40 mA. Jos auton käynnistysakun jännite on 12 V ja kylmäkäynnistysvirta 500 A. Kaksi akkua rinnan kytkettynä saadaan jännitteeksi 12 V ja kylmäkäynnistysvirraksi 1000 A. [2, s. 24.]

Sarjaankytkennässä komponenttien yli vaikuttaa sama virta, mutta komponenttien ominaisjännitteet summataan yhteen, joten jännitteen tarve on suurempi. Sarjaan kytkemisen hyötynä mainittakoon helppo kytkentä, joka mahdollistaa piirin komponenttien kytkemisen vuorotellen positiivisen ja negatiivisen napojen välillä. Negatiivisena ominaisuutena yhdenkin sarjaankytketyn komponentin vikaantuminen aiheuttaa koko piirin vikaantumisen. Hypoteettisena esimerkkinä valkoinen teholedi vaatii 3 V:n jännitteen ja 20 mA:n virran toimiakseen. Jos niitä kytketään kaksi sarjaan, nousee jännite 6 V ja virta säilyy 20 mA. Jos auton käynnistysakun jännite on 12 V ja kylmäkäynnistysvirta 500 A. Kaksi akkua sarjaankytkettynä saadaan jännitteeksi 24 V ja kylmäkäynnistysvirraksi 500 A. [2, s. 23.]

2.1.7 Kondensaattori ja kapasitanssi

Kondensaattori on komponentti virtapiirissä, joka jännitelähteeseen kytkettynä varaa itseensä pieniä sähkömääriä ja tarvittaessa pystyy sen nopeasti luovuttamaan. Komponenttina se koostuu yksinkertaisimmillaan kahdesta metallilevystä, joiden välissä on yleensä muovinen eriste. Eriste on välttämätön levyjen välille, sillä se estää läpilyöntiä kondensaattorin varautuessa, ja ilman eristettä kondensaattori pysyisi käytännössä loputtomasti varautuneena. Kondensaattori varaa itseensä yhtä suuren jännitteen kuin sen varaamiseen käytetyssä lähteessä on. Tämän ilmiön vuoksi on erittäin tärkeää huomioida kapasitiivisten laitteiden varauksen purkaminen työskennellessä virtapiirien kanssa. Kondensaattori on yleinen komponentti virtapiireissä koska se kykenee esimerkiksi suodattamaan häiriöitä ja purkautumaan hyvin nopeasti tasataakseen virtapiiriin mahdollisia epätasaisuuksia ja pitääkseen piirin stabiilina, kun taas jännitelähde ei kykene reagoimaan riittävän nopeasti.

Kapasitanssilla tarkoitetaan kondensaattorin varautumiskykyä ja yleisesti johdinkappaleiden välille muodostuvaa energiavarausta. Kapasitanssin tunnus on C , ja sen mitta-yksikkö on faradi, F . [2, s. 27–28.]

2.1.8 Tasasähkö ja vaihtosähkö

DC, tasasähkö, -jännite ja -virta ovat termejä, jotka kuvastavat lähdettä, jonka napaisuus ei vaihdu missään vaiheessa. Lähteen tasot voivat vaihdella jopa sykkeen-omaisesti, mutta napaisuuden säilyessä on silti kyse tasasähköstä. Tasajännite on sähkökoneen mittausten kannalta käytännöllisempi vaihtoehto. Sillä ei ole vaihtojännitteelle ominaista tapaa kuluttaa eristettä, ja mittausjännitteen ollessa tasainen on analysointi helpompaa. Vaihtojännitteellisestä sähkökoneesta mitattaessa tasajännitteellä on huomioitava käyttöjännitettä korkeampi mittausjännite, jotta tulokset ovat verrattavissa. Tasasähkömittauksissa syntyvä virta laskee hyvin nopeasti verrattuna vaihtosähkön tuottamaan korkeaan virtaan, joka säilyy mitattavan kohteen rakenteesta riippuen hyvinkin kauan. Tasasähköä voidaan tuottaa muun muassa sähköpareilla eli paristoilla, jotka kemiallisen reaktion tuloksena toimivat tasajännitelähteenä, ja akuilla, joihin voidaan toistuvasti varata sähköenergiaa, joka akun rakenteessa muuttuu pariston tavoin kemialliseksi energiaksi, joka taas purkaessa muuttuu sähköenergiaksi. [2, s. 16.]

AC, vaihtosähkö, -jännite ja -virta ovat termejä, jotka kuvastavat lähdettä, jonka napaisuus ja voimakkuus vaihtuu ajan funktiona aaltomaisesti. Vaihtosähköä käytetään yleisesti tuottamaan sähköenergiaa generaattorin avulla, joka voidaan käyttökohteesta riippuen muuttaa tasasähköksi AC/DC -muuntajalla ja varastoida esimerkiksi akkuihin. Vaihtosähkö on pidempiaikaiseen sähköntuotantoon ainoa vaihtoehto. Induktioon perustuvassa ilmiössä, jossa nopeasti pyörivä ankkuri (eli useita käämejä jonka sisällä on ydin) magneettien keskellä luo napaisuudeltaan vaihtuvaa sähköä, vaihtosähköä. [2, s. 16.]

2.1.9 Sähkön vaikutukset ihmiseen

Jännite on tekijä, joka saa ihmiskehon kangistumaan ja aiheuttaa tilanteen, jolloin lihakset jännittyvät ja otetta voi olla jopa mahdoton irrottaa itse. Sähkön armoilla ollessaan ihmiskeho on kuin yksi suuri vastus. Aikaisemmin mainittua ohmin lakia sovelletaan myös tässä: mitä suurempi resistanssi, sitä pienempi virta. Ihmiskehon resistanssi voi olla muutaman voltin jännitteellä mitattaessa kuivana ja ehjänä jopa 100 000 ohmia, mutta mitä korkeampi jännite, sitä alhaisemmaksi ihmiskehon resistanssi muuttuu. Kosteaa ja rikkoutunutta ihoa voi aiheuttaa resistanssin putoamisen

1000 ohmiin, joka pudottaa kohtalokkaan seurauksen tarvitseman jännitteen määrän yhteen prosenttiin ehjän ja kuivan ihon sijaan.

Ihmiskehon toiminta perustuu sähköimpulsseihin, joita hermosto välittää. Sähkövirta on tekijä, joka saa ihmiskehon tasapainon järkkymään ja pahimmassa tapauksessa aiheuttaa kohtalokkaita seurauksia. Yleisenä nyrkkisääntönä pidetään 30 mA:n virtaa, joka riittää sekoittamaan sydämen rytmin ja aiheuttamaan kammiovärinää. Oikeassa vaiheessa saatu isku voi jopa pysäyttää sydämen. Tästä syystä esimerkiksi kotitalouksissa käytetyt vikavirtasuojat laukeavat 30 mA:n virran ylityttyä. [2, s. 60.]

Seuraavat tekijät jotka vaikuttavat sähköiskun haitallisuuteen:

- piirin sulkeminen eli uhrin ottaessa sähkölaitteesta molemmiin käsiin kiinni, johtuu sähkövirta läpi kehon kädestä käteen ja läpi sydämen, mikä maksimoi sähköiskun vaarallisuuden
- sähkölle altistumisen kesto, sillä sähkön johtuessa sisäelimiin se aiheuttaa helposti sisäisiä palovammoja ja parantumattomia hermostovikoja
- kosketuspinta-ala ja puristusvoima, vaikuttavat siihen, miten hyvin sähkö pääsee johtumaan kehossa ja myös siihen, miten vaikeasti uhri on irroitettavissa sähköiskun aiheuttavasta kohteesta

Lähes loputtoman monesta tekijästä johtuen on mahdotonta sanoa yleispätevästi, mikä riittää kohtalokkaisiin seurauksiin, sillä ihmiskehon ominaisuudet vaihtelevat yksilöittäin resistanssin, ulkoisien tekijöiden, kuten sateen tai esimerkiksi suihkun aiheuttaman ihon kosteuden tai yleisesti ihon ominaiskosteuden perusteella tai vaikka jännitteen osalta. Voi olla, että pieninkin virta oikeassa vaiheessa saa sydämen pysähtymään tai henkilö voi hetkellisesti altistua suurelle jännitteelle ja korkealle virralle ja selviytyä säikähdyksellä. Vaaraton sähköisku voi myös aiheuttaa horjahtamisen ja tätä kautta epäsuorasti tapaturman. Tämän vuoksi on tärkeää kunnioittaa sähköä ja maltaa ottaa huomioon työturvallisuus, vaikkakin se saattaisi pitkittää työn valmistumista. [2, s. 59.]

2.2 Hybridiajoneuvot

Uusiutumattomien fossiilisten polttoainelähteiden ehtyminen ja tavoitteellinen ilmastomuutosta aiheuttavien päästöjen vähentäminen on saanut ajoneuvojen valmistajat etsimään uusia näkökulmia ajoneuvoteollisuudelle yksityisajoneuvoista hyötyajoneu-

voihin ja aina erikoisajoneuvoihin, kuten metsätyökoneisiin. Ongelmien etenemisen hidastamiseksi on päädytty hybridi- ja sähköajoneuvoihin. Seuraavissa luvuissa käsitellään pintapuolisesti näitä tekniikoita ajoneuvokäytössä.

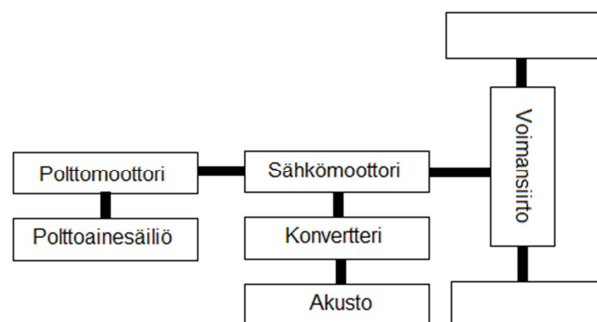
2.2.1 Hybridiajoneuvojen tekniikat

Ajoneuvoteollisuudessa hybridillä tarkoitetaan ajoneuvoa, jossa ensisijaisen voimanlähteen yhteyteen kytketään yksi tai useampi voimanlähde. Esimerkiksi polttomoottori toimii ensisijaisena voimanlähteenä ja sen yhteyteen kytketään sähkömoottorit ja akusto, sekä jarrutusenergiaa taltioiva järjestelmä. Hybriditekniikka on perinteiseen täyspolttomoottoriajoneuvon verrattuna käytännöllisempi [2, s. 42–44]:

- se mahdollistaa tarvittavan polttomoottorin tilavuuden pienentämisen
- käytöstä aiheutuva melu häviää lähes täysin polttomoottorin ollessa sammuksissa ajettaessa akuilla
- sähkömoottorien tuottama vääntökäyrä on lineaarinen ja maksimi vääntömomentti on käytettävissä koko käyttöalueella
- huollon tarve on erittäin vähäinen, sillä polttomoottorille kertyy vähemmän kilometrejä ja sähkömoottoreiden kuluminen on vähäistä
- sähkömoottorit toimivat generaattoreina jarrutuksen yhteydessä keräten energiaa talteen akustoon.

2.2.2 Rinnakaishybridi

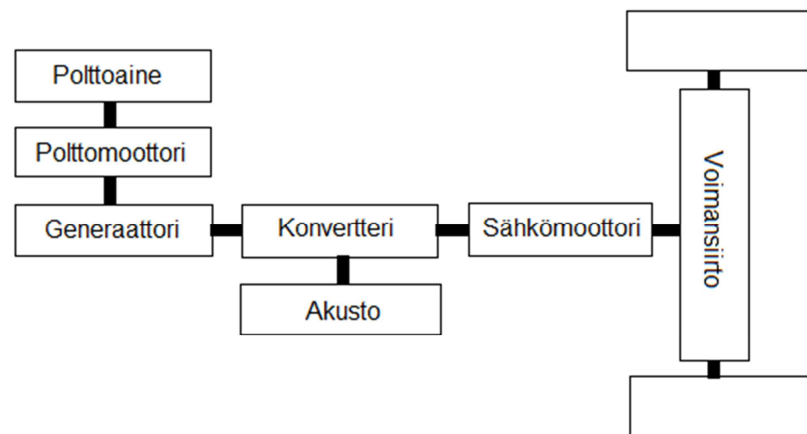
Polttomoottori ja sähkömoottori (kuvio 1) toimivat rinnakaishybridissä yhdessä välittäen mekaanisen tehon yhteisen voimansiirron välityksellä. Tehoa voidaan tuottaa pelkästään polttomoottorilla, sähkömoottorilla tai molemmilla yhtäaikaaisesti. Polttomoottorin tuottama teho voidaan käyttää kokonaan tai jakaa kuorman ja sähkömoottorin kesken, jolloin sähkömoottori toimii generaattorina ja lataa akustoa. [4, s. 24–25; 5, s. 130.]



Kuvio 1. Rinnakaishybridin rakenne

2.2.3 Sarjahybridi

Sarjahybridissä (kuvio 2) polttomoottorilla ei ole mekaanista yhteyttä voimansiirtoon, joten se vain tuottaa sähköenergiaa sähkömoottorille, joka välittää mekaanisen voiman voimansiirron välityksellä pyörille. Tuotettu sähköenergia voidaan varastoida akustoon, käyttää suoraan sähkömoottoriin tai sekä että. Akusto saadaan ladattua myös jarrutusenergian talteenottojärjestelmällä. Rakenne mahdollistaa napamoottoreiden käytön, mikä poistaa tilaa vievän vetoakselin tarpeen. Tehoa voidaan tuottaa suoraan akustolta, polttomoottorin pyörittämän generaattorin avulla tai molemmilla. Polttomoottorin tuottama sähköteho voidaan varastoida akustoon kuorman ollessa vähäinen. [4, s. 22–23; 5, s. 128–130.]

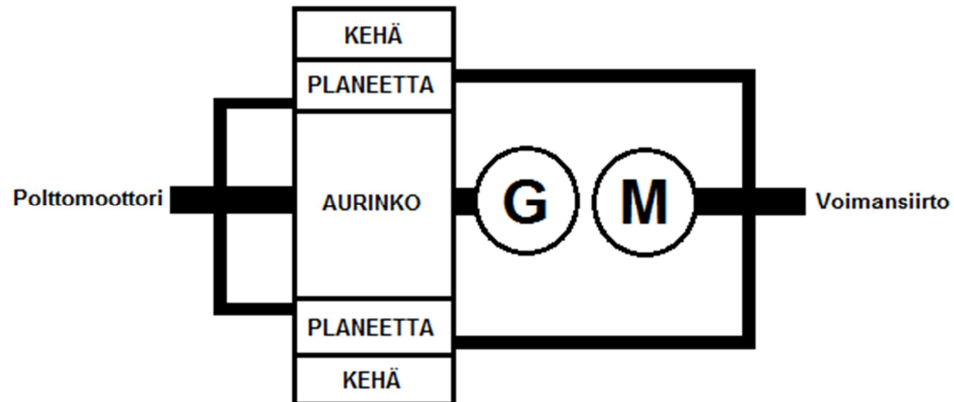


Kuvio 2. Sarjahybridin rakenne

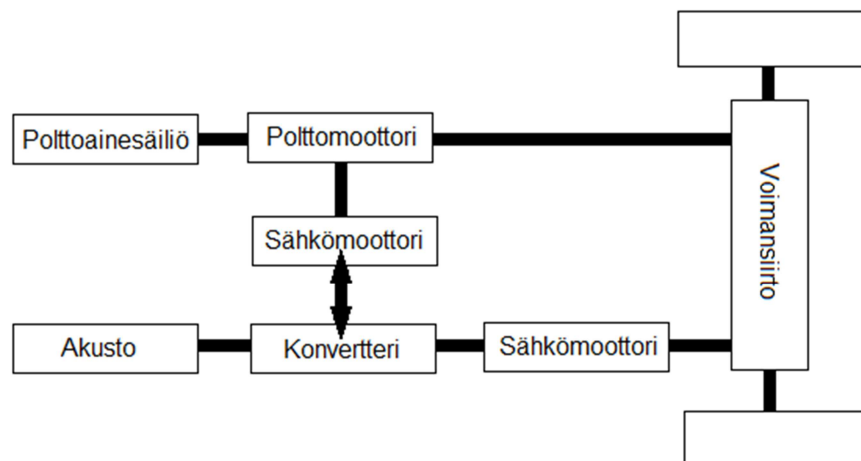
2.2.4 Jaetun tehon hybridi (sekahybridi)

Sekahybridillä (kuvio 4) pyritään yhdistämään rinnakkais- ja sarjahybridin hyviä ominaisuuksia. Polttomoottori ja sähkökoneet ovat yhdistetty toisiinsa planeettavaihteen avulla. Planeettavaihte koostuu aurinkopyörästä, planeettakannattimesta sekä kehäpyörästä kuvion 3 mukaisesti. Sähkömoottori on kytketty kehäpyörään, polttomoottori planeettakannattimeen ja generaattori aurinkopyörään. Planeettavaihteen avulla voimansiirto toimii portaattomasti riippumatta siitä, onko käytössä pelkkä polttomoottori, sähkömoottori vai molemmat. Sekahybridi on erittäin monimutkainen tekniikaltaan ja sen vuoksi myös kallis. Generaattori ohjaa moottorin pyörimisnopeutta, minkä vuoksi generaattorin tai tehoelektroniikan vikaantuminen lamaannuttaa koko

ajoneuvon voimansiirron. Toyota Prius on tunnetuin jaetun tehon hybridi, jonka teknologiaa hyödynnetään muun muassa myös Lexuksen CT 200h -mallissa [4, s. 26–27].



Kuvio 3. Sekahybridin planeettavaihte



Kuvio 4. Sekahybridin rakenne

2.2.5 Range extender

Periaatetasolla range extenderissä on kyse sarja- tai sekahybridistä, mutta käytännössä kyse on sähköautosta, jossa on polttomoottori tuottamassa sähköenergiaa aggregaatin tavoin. Polttomoottorin tehtävänä on ainoastaan tuottaa sähköenergiaa siihen kytketyn generaattorin avulla. Range extender -ajoneuvoissa on suuremmat akustot kuin tavallisessa sarjahybridissä, ja ajoneuvon onkin pääsääntöisesti tarkoitus toimia pelkästään akuston sähköenergian avulla. Polttomoottori kytkeytyy, jos vaaditaan urheilullisia ominaisuuksia, jolloin tehon tarve on suurempi, tai kun kyseessä

on usean sadan kilometrin matka, jolloin akkujen kapasiteetti rajoittaisi matkan pituutta. Näin ollen nimensä mukaisesti polttomoottorin avulla saadaan jatkettua matkaa sen tuottaessa sähköenergiaa. [2, s. 42, 44.]

2.2.6 Plug-in-hybridi

Plug-in-hybridityyppi voi olla sarja-, rinnakkais- tai sekahybridi. Sen erikoisena ominaisuutena on pistokelataus, kun ajoneuvo ei ole käytössä. Plug-in-hybridissä (PHEV = Plug-in Hybrid Electric Vehicle) on tavallista hybridiä suurempi kapasiteettinen akusto, jotta pistokelatauksesta saataisiin maksimaalinen hyöty. Hyvänä puolena plug-in-hybridissä on sen käytännöllisyys: siinä missä sarja- tai rinnakkaishybridin akusto ei kykene latautumaan lyhyessä ajossa, voidaan plug-in-malli jättää esimerkiksi työpäivän ajaksi lataukseen. Esimerkiksi pidemmällä matkalla akusto saadaan ladattua pikalatauksen avulla akkuteknologia huomioon ottaen hyvinkin nopeassa ajassa. [2, s. 43–44.]

2.2.7 Akusto

Hybridi- ja sähköajoneuvoissa on käytössä 12 voltin akku käyttölaitteille sekä korkeajänniteakusto sähkömoottoreille ja joillekin apulaitteille, kuten ilmastoinnin kompressorille ja ohjaustehostimelle. Vaihteleva kuormitus, käyttötilat sekä mahdollinen latausjärjestelmä vaativat akunhallintajärjestelmän, jolla voidaan tarkkailla korkeajänniteakun kennojen tilaa. Korkeajänniteakut muodostuvat useasta matalajännitteisestä kennosta tai moduulista, jotka sarjaankytkettynä tuottavat korkeajänniteakulle ominaisen korkean käyttöjännitteen. Esimerkiksi Toyota Prius W20 -mallisessa hybridissä yhden kennon jännite on 1,2 V, joita on kuusi kappaletta yhdessä moduulissa, jonka jännite on 7,2 V. Niitä on akkupaketissa 28 kappaletta muodostaen kokonaisjännitteeksi 201,6 VDC. Akunhallintajärjestelmä saa ohjauksen 12 voltin järjestelmästä, jonka avulla ohjataan korkeajännitepiirin erotusreleitä eli kontaktoreita. Kun ajoneuvo ei ole käytössä, kontaktorit erottavat korkeajänniteakun kelluvaksi, jolloin ajoneuvon ainoa korkeajännitteellinen osa on itse akkupaketti. [2, s. 44, 51; 6, s. 9.]

Interlock-piiri on osa suojausjärjestelmää, joka yhdessä eristysvastus valvontajärjestelmän kanssa erottaa korkeajänniteakuston vikatilanteen ilmetessä. Interlock-piiri valvoo korkeajännitekomponenttien suojuksia, joka katkaisee kontaktorien ohjauksen

havaitessaan suojuksien poistamisen sähkötapaturmien välttämiseksi. Näin tapahtuu esimerkiksi asiattoman korjausyrityksen yhteydessä, jolloin valvontajärjestelmää ei ole kytketty ohjeistuksen mukaisesti pois päältä huoltotoimenpiteen ajaksi. Eristysvastuksen valvontajärjestelmä tarkkailee korkeajännitekomponenttien ja ajoneuvon korin välistä eristysvastusta, jonka muuttuessa liian alhaiseksi se sytyttää vikavalon mittaristoon tai arvon ollessa todella alhainen katkaisee kontaktorien ohjauksen. [2, s. 48–49, 53; 3.]

Sähkö- ja hybridiajoneuvoissa käytetään korkeajännitteistä akustoa, jonka ominaisjännite vaihtelee valmistajasta ja ajoneuvon tyypistä riippuen. Sarjatuotantoajoneuvoissa akuston jännitteet vaihtelevat välillä 100–350 V. Alla olevassa taulukossa on esitelty yleisimpien sähkö- ja hybridiajoneuvojen jännitetasoja. [7, s. 20, 24–25.]

Taulukko 2. Sähkö- ja hybridiajoneuvojen akuston jännitetasot ((S) = täyssähköajoneuvo) [7]

Valmistaja	Malli	Akku	U_{akku} [V]
BMW	7	Li-ion	120
Honda	Insight	NiMH	100,8
Lexus	RX 450h	NiMH	288
Mercedes-Benz	S 400h	Li-ion	126
Mitsubishi (S)	iMiEV	Li-ion	250
Nissan (S)	Leaf	Li-ion	160
Tesla (S)	Roadster	Li-ion	393
Toyota	Prius	NiMH	201,6
Toyota	Prius PHV	Li-ion	345,6

2.2.8 Invertteri

Sähkö- ja hybridiajoneuvoissa käytettävän vaihtosähkögeneraattorin ja energian talteenottojärjestelmän tuottamaa vaihtosähköä ei sellaisenaan ole mahdollista varastoida akkuihin, joten se on muunnettava tasasähköksi. Tämän vuoksi on käytettävä inverttereitä, jotka muuntavat akkuihin varastoitavaa energiaa vaihtosähköstä tasasähköksi, ja päinvastoin syötettäessä sähköä sähkömoottoreille on akkujen tasasähkö muunnettava vaihtosähköksi. Inverttereitä voi olla yksi tai useampi riippuen ajoneuvon kokoonpanosta ja vaadittavien muunnosten määrästä. Invertteri käsitetään osana tehoelektroniikkaa, joka esimerkiksi Toyota Priuksessa toimii yksikkönä, josta sähkö jaetaan sähkömoottoreiden, akuston, ilmastoinnin kompressorin ja ohjaustehostimen välillä.

Sähkö- ja hybridiajoneuvoissa käytetään myös konverttereita eli DC/DC -muuntajia muuntamaan jännitetaso esimerkiksi korkeajänniteakuston 201,6 VDC muuntamiseen 12 voltin järjestelmän akulle sopivaksi [2, s. 47; 5, s. 507.]

2.3 Sähköajoneuvot

Täyssähköinen ajoneuvo eroaa hybridistä siten, ettei siinä ole polttomootoria lainkaan. Sähköajoneuvo on täysin riippuvainen akustostaan energianlähteenä ja sen lataamiseen hyödynnetään jarrutusenergian talteenottojärjestelmää ja pistokelatausta. Täyssähköajoneuvoksi luokitellaan myös polttokennoilla eli vedyllä tai alkoholilla toimiva ajoneuvo, joka ilman liekkiä palaessaan luovuttaa suoraan sähköenergiaa. Kuten taulukosta 2 ilmenee, ovat jännitetasot samansuuruisia kuin hybridiajoneuvoissa, joten sähköturvallisuuden kannalta ei ole merkitystä, kumman tyypin kanssa on tekemisissä. Samat varotoimet pätevät kummassakin. Sähköajoneuvo on tekniikaltaan yksinkertaisempi, sillä voiman välittämiseen ei tarvita kytkintä eikä esimerkiksi napamootoreita käytettäessä edes vaihteistoa. Suorituskyvyllisesti sähköajoneuvo on parempi, sillä sähköteho voidaan ohjata suoraan sähkömootoreille ilman tehohäviötä aiheuttavia välityksiä ja sähkömootoreiden vääntökäyrä on sama kierrosluvusta riippumatta. Tällä hetkellä sähköajoneuvojen yleistymistä hidastaa akkuteknologian hidas kehittyminen ajoneuvoteollisuuden haastaviin olosuhteisiin. Akkujen tämän hetkinen kapasiteetti riittää parhaimmillaan noin 400 km:n mittaiseen ajomatkaan, joten sähköajoneuvo toimii ideaalisesti kaupunkiolosuhteissa lyhyillä ajomatkoilla ja latausmahdollisuudella. [2, s. 54.]

2.4 Sähköeriste

Yleisesti käytetyt johtimet ovat kuparia tai alumiinia johtuen niiden hyvästä johtavuudesta. Eristeen ominaisuuden tarkoitus on olla täysin vastakkainen eli eristää sähkö kulkemaan johdinta pitkin. Tämä saavutetaan suuren resistiivisyyden, eli ominaisvastuksen ja huonon sähkönjohtavuuden omaavan aineen avulla. Käsitteen ymmärtämiseksi käytetään ohmin lakia $U = R \cdot I$, jossa U on jännite voltteina, R on vastus ohmeina ja I on sähkövirta. Arkikielelle käännettynä edellä mainittu on helposti rinnastettavissa vesiputkeen, jonka päässä on pumppu. Kun putki on ehjä, vesiputken päässä oleva pumppu tuottaa virtauksen, joka säilyy läpi putken. Jos putkessa on

vuoto, menetetään vettä ja virtausnopeus laskee. Toisin sanoen eristeen ollessa viallinen, syntyy häviötä, joka aiheuttaa vika- ja jopa vaaratilanteita.

Mikään eriste ei kuitenkaan ole täydellinen, toisin sanoen ole ääretön vastusarvoltaan, joten kaikissa eristeissä syntyy vuotovirtaa. Kyseessä oleva virta on kuitenkin mikroampeerin luokkaa (miljoonasosa ampeerista). Korkeampi jännite saa virran kulkemaan herkemmin eristeen läpi. Kunnossa olevaa eristettä kyseinen virta ei kuluta, mutta ongelma syntyykin jos eriste on viallinen. Eristeen perimmäinen tarkoitus onkin varmistaa laitteen käyttöturvallisuus, tämän vuoksi on tärkeää tarkistaa säännöllisin väliajoin sähkökoneiden eristeiden kunto.

2.4.1 Sähköeristetyypit ja ominaisuudet

Sähköeristeet luokitellaan pääsääntöisesti kahteen kategoriaan, ilma- ja kiinteään eristeeseen. Autoteollisuuden sovelluksissa käytetään pääsääntöisesti kiinteäeristeisiä ratkaisuja sen tarjoaman kulutuskestävyyden ja käytännöllisyyden vuoksi. Kiinteä eriste on myös jännitelujuudeltaan suurempi kuin vastaavan ilmapääläeristeen. Eristemateriaalia valitessa käyttötarkoitukseen sopivaksi on huomioitava käyttöolosuhteet, kuten esimerkiksi hybridi- ja sähköajoneuvojen korkeat käyttöjännitteet. Seuraavissa luvuissa käsitellään yleisimpiä rasituksen muotoja ja niiden ilmenemistä. [9, s. 49, 51, 54, 57.]

2.4.2 Kuluminen

Sähköeristeet altistuvat elinkaarensa aikana monelle erityyppiselle rasitukselle, joka heikentää eristeen ominaisuuksia ajan myötä. Ennen kuin yksilöi kulumista aiheuttavia tekijöitä, on otettava huomioon tekijöiden esiintymismuodot. Jatkuvaa kulumista aiheuttavat tekijät ovat muun muassa lämpötila ja sen vaihtelut sekä vaihtojännitteen taajuus, joita voidaan ennakoida oletetun käyttöiän ja olosuhteiden perusteella. Transienttimaista kulumista aiheuttaa muun muassa käynnistykset ja transienttiylijännitteet, joita on lähes mahdoton ennustaa. [8, s. 43–49, 181–190; 10, s. 2–3.]

2.4.3 Lämpörasitus

Tiedostetuin rasituksen muoto on lämpörasitus, joka on käyttökohteesta riippumatta lähes mahdoton pitää stabiilina. Sähkökoneen käyttäminen nostaa operointilämpötilaa

johtuen sähkömoottorin kierteelle kierretystä käämirakenteesta, ja lämpötila vaihtelee käyttötilanteiden mukaan. Ajoneuvoteollisuudessa lämpötilavaihtelun tasaamiseksi käytetään ilma- ja nestejäähdytystä. [8, s. 45–46, 181–183; 10, s. 2.]

2.4.4 Sähköinen rasitus

Sähkökoneeseen syntyvät hetkelliset transienttilyijännitteet kuluttavat eristettä sen altistuessa käyttöjännitettä suuremmalle hetkelliselle jännitteelle, ja mitä kuluneempi eriste, sitä suurempi kuluttava vaikutus sähköisellä rasituksella on. [8, s. 46–47, 188–189; 10, s. 2.]

2.4.5 Ympäröivät olosuhteet

Käytön yhteydessä sähkökone altistuu useille eri tekijöille, jotka voivat nopeuttaa eristeen oletettua kulumista. Yleisimmät olosuhteiden luomat rasitteet ovat

- lämmönvaihtelun seurauksena kondensoituva kosteus
- öljy laakeroinnista tai yleisesti voitelujärjestelmästä
- korkea ilmankosteus
- kemikaalit
- lika, kuten hyönteiset, tuhka, hiekka ja jarrupöly.

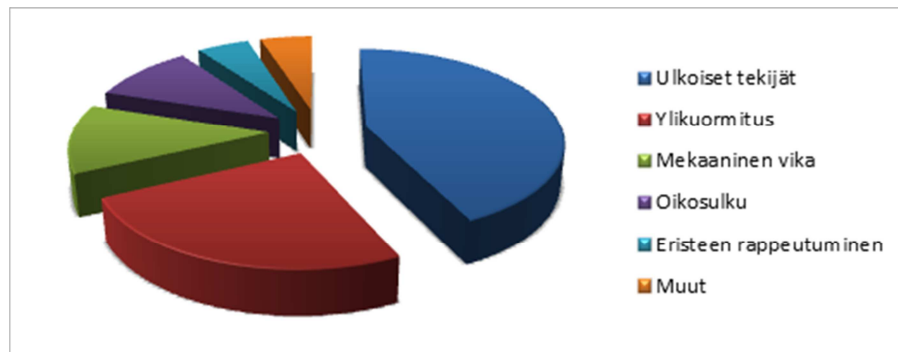
Esimerkiksi kosteus ja öljy yhdessä osittainkin varautuvan lian kanssa voi luoda eristeen päälle varautuvan kalvon, joka voi aiheuttaa pintavirtauksia ja läpilyöntiä. Sama yhdistelmä voi myös tukkia sähkökoneen jäähdytysjärjestelmän aiheuttaen ylikuumenemista ja näin ollen eristeen heikkenemistä. [8, s. 47–48.]

2.4.6 Mekaaninen rasitus

Mekaanisen rasituksen voi jakaa kolmeen kategoriaan. Sähkökoneen pyörivien osien altistuminen suurille keskipakovoimille varsinkin nopeuden vaihdellessa, saa eristeen elämään käämityksen pinnassa, mikä ajan myötä kuluttaa eristystä. Toinen mekaanista rasitusta aiheuttava tekijä on värinä, jota ilmenee väistämättä lähes kaikissa käyttökohteissa, varsinkin ajoneuvoteollisuudessa teiden ollessa epätasaisia, ja esimerkiksi

jos neljän kämmenen kokoinen kosketuspinta-ala on ainoa yhteys samaan pintaan saa se eri komponentit heilahtelemaan ja värähtelemään eri taajuuksilla jatkuvasti. Kolmantena räsitystä aiheuttavana komponenttina on kytkeminen tai kytkeytyminen, jolloin sähkökoneeseen syntyy suuria transientteja. [8, s. 48–49.]

Alla olevassa kaaviossa on havainnollistettu sähkökoneen eristyksen vikaantumisen aiheuttavien tekijöiden ilmenemistä. [10, s. 3.]



Kuvio 5. Sähkökoneiden eristeen rappeutumista aiheuttavien tekijöiden ilmeneminen

2.5 Eristysvastusmittaus

2.5.1 Yleistä

Tässä luvussa käsitellään eristysvastusmittauksen perusteita myöhemmin työssä käsiteltävän Bosch FSA 050 -mittalaitteen käyttötarkoituksen ja toimintaperiaatteen selventämiseksi.

Perinteistä yleismittaria käytettäessä mitattavaan kohteeseen kohdistetaan hyvin matala tasajännite, joka voi osoittaa eristeen olevan kunnossa. Kuten tiedetään, ilmakein muuttuu johtavaksi synnyttäen valokaaren. Kun kahden johtavan kappaleen välille muodostuu tarpeeksi suuri potentiaali- eli jännite-ero, sähkövirta purkautuu sähköä johtamattoman materiaalin kuten ilman läpi. Ilman molekyylit ionisoituvat korkean sähkökentän johdosta ja muuttuvat potentiaalisiksi varauksenkuljettajiksi, ja tavallisesti eristävä ilma muuttuu johtavaksi [11]. Tämän vuoksi mitattaessa korkeajännitekojeita, kohdistetaan laitteeseen käyttöjännitettä korkeampi tasajännite ylijännitetransienttitilanteiden varalle, jotta eriste voidaan todeta olevan kunnollinen mahdollis-

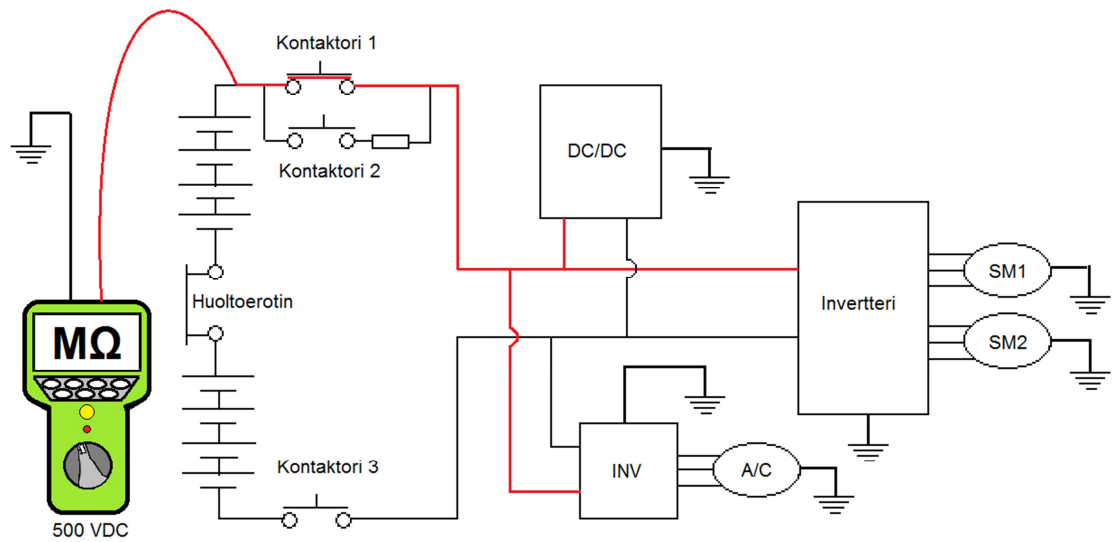
ten vikatilanteiden kannalta, ettei läpilyöntiä ja näin ollen oikosulkua ei pääse syntymään. [10, s. 3.]

Eristysvastusmittausta suorittaessa tulee mitattavan kohteen olla irtikytetty järjestelmästä, jotta saatu tulos kertoo kyseisen kohteen eristyksen tilasta. Pahimmassa tapauksessa viallinen eriste saattaa aiheuttaa henkilövahinkoja käyttäjälle tai huoltohenkilökunnalle. Laitteen kapasitiivisten osien kannalta on olennaista purkaa varaus, jotta huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa työturvallisuuden kannalta oikein. Eristysvastusmittaukseen suunnatuissa mittalaitteissa on yleisesti automaattisen varauksen purkaus ominaisuus, jotta erillisiä lisätoimenpiteitä ei tarvita ennen eikä jälkeen mittauksien. [3]

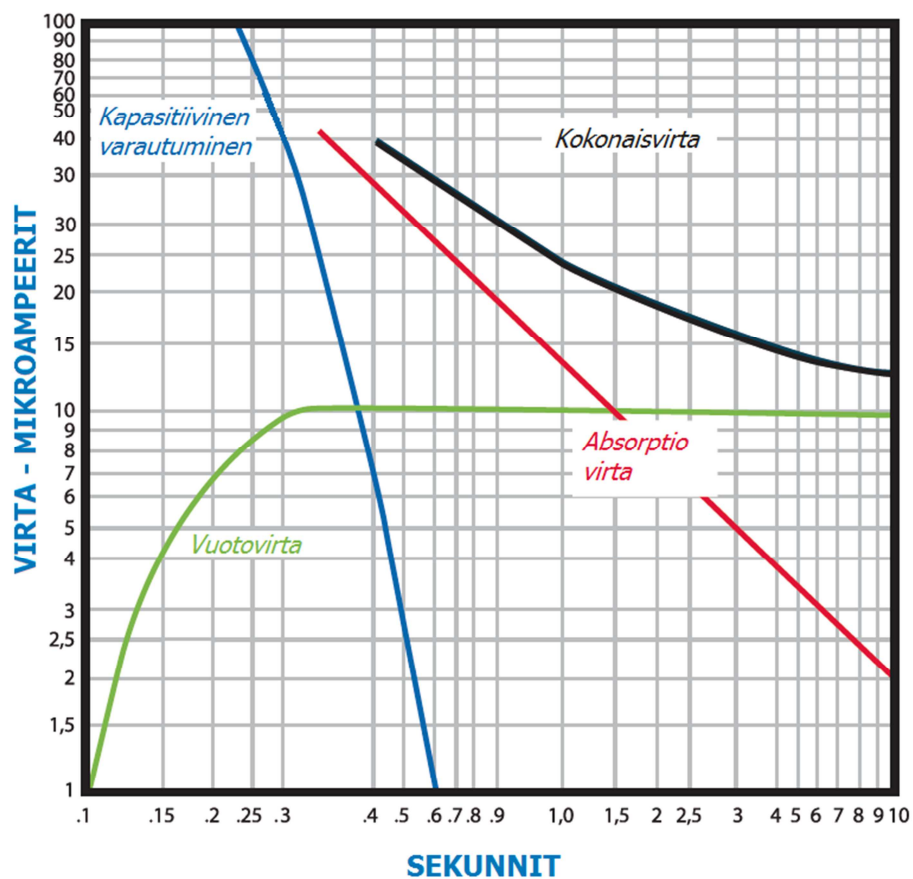
Mittaukset käsittävät eristysvastuksen mittauksen ennalta määrätyillä ajanjaksoilla. Etuna näille mittauksille on se, ettei mittaus hetken lämpötilalla ole juurikaan merkitystä tulokseen. Ohmin lakia soveltamalla $R = U / I$, voidaan todeta, että virran laskiessa resistanssi kasvaa. Täten mitattu eristysvastus arvo nousee, kun mittauksen aikana sähkökone altistetaan testausjännitteelle, sillä hetkellisen mittauksen sijaan käytettävä aikavälimittaus saa tuloksia vääristäviä häiriöitä aiheuttavat virrat laskemaan ja vuotovirran tasaantumaan. Testin aikana mitatusta vuotovirrasta lasketaan eristysvastus. Mitattaessa eristysvastuksen muutosta jännitteelle altistamisen aikana on mahdollista todeta eristeiden kunto. Tätä periaatetta noudattava mittausmenetelmä mahdollistaa viallisen eristeiden toteamisen ilman taustatietoja. [8, s. 238–240.]

Tavoitteellinen tulos eristysvastusmittaukselle on vastusarvoltaan ääretön, sillä eristeiden tarkoituksena on eristää jännitteelliset osat esimerkiksi sähkökoneen rungosta. UNECE-R-100 (ks. 3.3.2) -määräyksessä on asetettu vähimmäisarvot eristysvastukselle. Korkeajännitteisen tasavirtaväylän ja korin välisen eristysvastuksen tulee olla $100 \Omega/V$ ja vaihtovirtaväylän ja korin välisen eristysvastuksen tulee olla $500 \Omega/V$. Yleisenä kriittisenä vähimmäisarvona ajoneuvojen eristysvastusarvoksi pidetään $25 k\Omega$:a, joka toimii myös ajoneuvon oman eristysvastus valvontajärjestelmän alarajana ennen korkeajännitejärjestelmän erottamista. [3, 5.1.3.] Kuviossa 6 on esitelty eristysvastusmittauksen periaate.

Kuvio 7 havainnollistaa virtojen käyttäytymisen sähkökoneessa välittömästi sen jälkeen, kun siihen on kytketty mittalaite ja sen tuottama DC mittausjännite.



Kuvio 6. Eristysvastus mittaustoimenpidettä havainnollistava esimerkki



Kuvio 7. Virran käyttäytyminen sähkökoneessa kun siihen kohdistetaan mittausjännite (DC) [10, s. 4]

Mittaustulokseen vaikuttaa kolmella eri tavalla esiintyvä virta, jonka ominaisuudet vaihtelevat keskenään. Seuraavissa kappaleissa on esitelty virtojen ominaisuudet.

Kapasitiivinen virta, kun laite altistetaan DC -mittausjännitteelle, syntyy suuri latausvirta, joka pienenee hyvin nopeasti eksponentiaalisesti sen saturoituessa. Aika jolloin virta on nolla tai lähes nolla riippuu johtimen ja jännitelähteen sisäisen vastuksen suhteesta. Yleisesti sovellettavaa sääntöä noudatettaessa eristysvastusmittaus aloitetaan vasta kymmenen minuutin kuluttua järjestelmän irti kytkemisestä, jolloin teoriassa kaikkien sähkökoneiden kapasitiivisen varautumisen tulisi olla purkautunut. [8, s. 238.]

Vuotovirta syntyy kun elektronit tai ionit liikkuvat eristeen sisällä. Vuotovirtaa ilmenee voimakkaammin, mikäli eriste on vettynyt tai puutteellinen. Mikäli eriste on puutteellinen, on virta suuri; kuitenkin ideaalitalanteissa virta on nolla eristeen ollessa ehjä. Mitattaessa virta kasvaa aluksi, kun johtimeen kohdistetaan jännite, mutta sitten hetkessä laskee ja saavuttaa stabiilin arvon nopeasti kytkemisen jälkeen. Mittauksen aikana virran tulee pysyä lähes vakiona, muutoin eristys on tulkittava puutteelliseksi. [8, s. 238–239.]

Dielektrinen absorptiovirta on käsitteenä hankala kuvailla, mutta yleisimmin se ymmärretään eristeen ominaisuutena enemmän kuin vikana. Käyttökohteesta riippuen siitä voi olla myös haittaa. Häiriö herkässä piirissä on kiinnitettävä huomio huomattavasti tarkemmin eristeen materiaaliin sitä valitessa. Virta syntyy eristeeseen kun sen suojaama johdin altistetaan DC -jännitteelle, joka saa eristeessä olevat polarisoituvat molekyylit järjestäytymään uudelleen. Monet käytännön eristysmateriaalit sisältävät polaarisia molekyylejä, jotka omaavat sisäisen sähkökentän, joka syntyy molekyylin sisäisistä elektroneista. Esimerkiksi vesimolekyylit ovat erittäin polarisoituvia. Kun vesi altistetaan sähkökentälle, järjestäytyvät vesimolekyylit ja virta kasvaa kunnes molekyylit ovat järjestäytyneet. Tämä virta on polarisaatiovirta, joka on osa absorptiovirtaa. Virran määrä kasvaa eristemateriaalissa suhteellisen korkeaksi, kunnes se laskeutuu takaisin nolleen noin kymmenen minuutin jälkeen. [8, s. 239.]

Kokonaisvirta on toisin sanoen kaikkien kolmen edellä mainitun virran summa.

2.5.2 Eristysvastuksen mittaamenetelmiä

Mittausmenetelmiä on kymmeniä erilaisia, mutta tässä luvussa käsitellään myöhemmin työssä esiintyvän Bosch FSA 050 -mittalaitteen kannalta olennaisia ja yleisesti käytännön sovelluksissa yleisimmin käytettyjä menetelmiä: dielektrinen absorptiovirta (DAR, Dielectric Absorption Current), polarisaatioindeksi (PI, Polarization Index), eristysvastus (INS, Insulation Resistance) sekä aikaperusteinen mitta.

INS, eristysvastusmittauksella voidaan todeta hetkellinen vastusarvo esimerkiksi sähkökoneen käämityksen ja rungon väliltä. Mittauksen tarkoituksena on tarkistaa eristeen kunto. Ideaalinen mittaustulos on vastusarvoltaan ääretön; tällöin yhteyttä sähkökoneen rungon ja käämityksen välillä ei ole. Todellisuudessa arvo ei ole ääretön, mutta erittäin suuri eristeen ollessa kunnossa. [8, s. 235–240.]

PI, polarisaatioindeksi on kahden määrityllä väliajalla otetun eristysvastusmittauksen suhde. Mittalaitteissa on yleisesti automatisoitu ominaisuus tälle mittaamenetelmälle, jolloin ensimmäinen mitta otetaan yhden minuutin kuluttua mittalaitteen mitta-jännitteen kytkennästä ja toinen mitta otetaan kymmenen minuutin jälkeen, jolloin kaavalla $PI = R_{10} / R_1$, jossa R_{10} on mittaustulos kymmenen minuutin jälkeen ja R_1 mittaustulos yhden minuutin jälkeen, saadaan indeksi eli suhdeluku eristeen käyttökelpoisuudelle. [8, s. 235–240.]

Mittausmenetelmä on kehitetty sulkemaan pois lämpötilan vaihtelun aiheuttamat vääristymät vastusarvoissa, kun tiedetään että vastusarvo laskee lämpötilan kasvaessa. Aikamääreet perustuvat *kapasitiivisen virran* tasaantumiseen noin yhden minuutin jälkeen ja *dielektrisen absorptiovirran* tasaantumiseen noin kymmenen minuutin jälkeen mittaajännitteen kytkemisestä. Mittauksen tarkoituksena on tarkistaa eristeen toivottu käyttäytyminen ennalta määrätyn syklin aikana. Alla olevassa taulukossa on selvitetty miten tulokset tulee tulkita standardin IEEE 43-2000 perusteella.

Taulukko 3. Polarisaatioindeksin tulkinta [10, s. 5]

PI-arvo	Eristeen kunto
< 2	Puutteellinen
2 - 4	Hyvä
> 4	Erinomainen

DAR, dielektrinen absorptiovirta -mittaus suoritetaan sähkökoneista, joissa virran tiedostetaan laskevan nopeasti mittalaitteen jännitteen kytkemisen jälkeen. Mittaus on periaatteeltaan sama kuin edeltävä polarisaatioindeksimittaus, mutta käytettävä aika-väli on lyhyempi. Käyttämällä kaavaa $DAR = R_{60} / R_{30}$, jossa R_{60} on mittaustulos 60 sekunnin jälkeen ja R_{30} on mittaustulos 30 sekunnin jälkeen, saadaan suhde dielektriseen absorptiovirralle. Mittaus on käytännöllisempi sen kestäessä vain yhden minuutin verrattuna polarisaatioindeksimittauksen kymmeneen minuuttiin. [8, s. 235–240.] Alla olevassa taulukossa on selvitetty, miten tulokset tulee tulkita.

Taulukko 4. Dielektrisen absorptiovirta testin tulkinta [10, s. 6]

DAR arvo	Eristeen kunto
< 1.25	Puutteellinen
< 1.6	Hyvä
> 1.6	Erinomainen

T , aikaperusteisella mittauksella voidaan tarkkailla sähkökoneen eristysvastuksen käyttäytymistä valittuna ajanjaksona yhden ja kymmenen minuutin välisenä aikana. Sen sijaan että mittaukset otettaisiin tiettyinä aikoina, tässä mittauksessa kerätään jatkuvaa dataa. Tuloksena saadaan eristysvastus ja vuotovirta sekä ajanjakson pituudesta riippuen voidaan havaita myös kapasitiivisen ja absorptiovirran vaikutukset eristysvastukseen. Tätä mittausmenetelmää käytettäessä on huomioitava lämpötila ja sen vaikutukset mittaustulokseen, sillä karkeaa nyrkkisääntöä hyödyntäen sovelletaan periaatetta, jossa jokaista kasvavaa kymmentä celsiusastetta kohden vastusarvo puoliintuu ja päinvastoin jokaista laskevaa kymmentä celsiusastetta kohden vastus kaksinkertaistuu. [10, s. 4.]

2.6 Sähköturvallisuusluokitukset

Sähköturvallisuusluokituksilla eli ylijänniteluokilla määritellään standardien IEC 61010, IEC 60364 ja IEC 606641 mukaisesti numeeriset ilmaisut transienttiylijännitteiden suuruusluokasta riippuen. Luokituksia käytetään kuvaamaan eristeen vahvuutta eri osien välille. Ylijänniteluokitukset erottelevat eri tasoja käytettävyydelle käyttökohteen jännitetasojen ja vikariskin perusteella. Toisin sanoen voidaan luokitella laitteiden luotettavuus ja turvallisuus. Mittalaitteita tarkastellessa tulevat esiin ylijänniteluokat, puhekielisellä nimellä tunnetut CAT-luokat I, II, III ja IV. [12, s. 9; 13.]

Autoalan kannalta säädöksiä on hieman sovellettava, sillä omia standardeja ei ole luotu, vaan on käytettävä yleisiä kotitalouksiin ja teollisuuden sovelluksiin kohdistettuja määräyksiä ja tulkittava, missä kohtaa käyttöjännitetasot kohtaavat perinteisten polttomoottoriajoneuvojen sekä hybridi- ja sähköajoneuvojen korkeajänniteakuston käyttöjännitteen kannalta. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa on esitelty CAT-luokitusten eroavaisuudet keskenään, sekä suojauksen riittävyys käytännön esimerkein liitteessä 1.

Taulukko 5. Ylijänniteluokitukset mittalaitteille [12, s. 9]

Ylijännite	Työskentelyjännite (DC tai AC RMS)	Transienttipulssi (20 toistoa)	Testisyöttö (syöttöimpedanssi $\Omega = V/A$)	Testivirta ($I = V/\Omega$)
CAT I	600 V	2500 V	30 Ω syöttö	$2500 \text{ V} / 30 \Omega = 83,3 \text{ A}$
CAT I	1000 V	4000 V	30 Ω syöttö	$4000 \text{ V} / 30 \Omega = 133,33 \text{ A}$
CAT II	600 V	4000 V	12 Ω syöttö	$4000 \text{ V} / 12 \Omega = 333,33 \text{ A}$
CAT II	1000 V	6000 V	12 Ω syöttö	$6000 \text{ V} / 12 \Omega = 500 \text{ A}$
CAT III	600 V	6000 V	2 Ω syöttö	$6000 \text{ V} / 2 \Omega = 3000 \text{ A}$
CAT III	1000 V	8000 V	2 Ω syöttö	$8000 \text{ V} / 2 \Omega = 4000 \text{ A}$
CAT IV	600 V	8000 V	2 Ω syöttö	$8000 \text{ V} / 2 \Omega = 4000 \text{ A}$

3 Sähkötyöturvallisuus

Luvussa 2.3.2 esitellyt yleisimmät jännitetasot sähkö- ja hybridiajoneuvoissa ovat luvun 2.1.3 taulukon mukaisesti korkeajännitettä, joka asettaa tiettyjä vaatimuksia niiden kanssa toimimiseen. Suomessa vaatimukset asettaa standardi SFS 6002 [15], joka virallisesti kattaa sähkötyöturvallisuuden vaatimukset sähköaloilla yleisesti, ajoneuvoalan poikkeavuuksien kattavan oman standardin ollessa vielä insinööriyön kirjoitusajankohdan aikana kehitteillä. Seuraavissa luvuissa käsitellään sähkötyöturvallisuuteen liittyvät vaatimukset ja täsmennykset ajoneuvoalan kannalta.

3.1 Edellytykset toiminnalle

Korkeajännitteisiin ajoneuvoihin kohdistuva huoltotoiminta on säännösten alaista toimintaa. Voidakseen toimia korkeajännitetöitä tekevänä toiminnanharjoittajana yrityksen on tehtävä ilmoitus Suomen turvallisuus ja kemikaalivirastolle Tukesille toiminnan aloittamisesta. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä 516 on eritelty lupaa edellyttävät sähkötyötoiminnot ja pätevyysvaatimukset. KTMp 516 määrittää jo perusedellytykseksi, että sähkötyötä tekevän henkilön tulee olla perehtynyt ja opastettu, vaikka kyse olisikin toiminnasta joka ei vaadi toimintalupaa. [14]

Korjaamoiden, joissa korjataan tai huolletaan käyttöjännitteeltään yli 50 voltin vaihtojännitteisiä tai 120 voltin tasajännitteisiä sähköajoneuvoja, on tehtävä Tukesille ilmoitus korjaustoiminnan aloittamisesta (kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä 5.7.1996/516_26 §). Korjaustoiminnan harjoittajan on ilmoituksessa nimettävä sähkötöiden johtaja, jolla on riittävä kelpoisuus. Vaikka huoltoerottimen irroittaminen jakaa korkeajänniteakun kahdeksi alle 120 VDC piiriksi ja usein spekuloitua maallikolle sallittavaa pistokkeen vaihtoa on perusteltu sovellettavaksi, ratkaisee kuitenkin kuorien sisäinen kokonaisjännite, joten työn suorittaminen on luvanvaraista ja urakointilupa on haettava. [14; 21.]

3.2 Yksilötason vaatimukset

Toiminnanharjoittajan vastuullinen rooli alkaa pätevän sähkötöiden johtajan nimittämisestä. Saadakseen sähkötöiden johtajan nimikkeen, vaaditaan koulutus, jossa on käsi-

telty autoalan sähköturvallisuustutkinnoissa vaadittava asiasisältö, autoalan rajoitettu sähköturvallisuustutkinto 3:n (S3) läpäiseminen. Lisäksi henkilöllä on oltava riittävä ammattitaito, joka vaihtoehtoisesti määritellään kahden vuoden pituisella työkokemuksella autosähkötöistä tai ammattitaito muodostuu soveltuvasta autosähköalan koulutuksesta ja vuoden mittaisesta työkokemuksesta. [2, s. 77–84; 22.]

3.2.1 Sähköautopätevyys 3

Sähköautopätevyys 3 on monen pienemmän osa-alueen summa. Pätevyys oikeuttaa toimimaan sähkötöiden johtajana sähkö- ja hybridiajoneuvoihin liittyvissä tehtävissä. Pätevyyden saavuttamisen edellytykset on lueteltu edellisessä luvussa 3.2. Sähköpätevyyden myöntää akkreditoitu sähköalan henkilöarvointiyhdistys Seti Oy. Tavallisesti Seti Oy edellyttää, että vaadittu työkokemus on hankittu Tukesin urakoitsijarekisteriin merkityn toiminnanharjoittajan palveluksessa, mutta ennen vuotta 2012 ei vaadittu urakoitsijarekisteriin rekisteröitymistä, joten tavallisten 12 ja 24 V:n sähköjärjestelmien korjaus- ja huoltotyöt hyväksytään työkokemukseksi. Tämä kanta säilytetään, kunnes sähkö- ja hybridiajoneuvokanta yleistyy siinä määrin, että KTMP 516 18 §:ssä esitetty vaatimus työkokemuksesta sähköautojen korjaustöistä Tukesin rekisteröimän korjaamon palveluksessa katsotaan kohtuulliseksi. Kiinteistöalan sähköturvallisuustutkinnot (STT1-3) eivät kelpaa autoalan sähkö- ja hybridiajoneuvoihin rajoitetun S3-pätevyydistutuksen myöntämiseen. [2, s. 77, 79; 20.]

3.2.2 Työkokemus ja koulutus

Hankitun työkokemuksen laadun tulee vastata alan sähkötyötä, joka käytännössä ajoneuvoja käsitellessä rajoittuu 12 voltin järjestelmiin, korkeajännitteisten laitteiden käsittelyn ollessa säännösten alaista. Lähtökohtaisesti opisto- tai korkeakouluasteen tutkinnon tai ammattitutkinnon suorittanut ja ajoneuvoalaan liittyvän sähkötekniikan linjan valinneena tarvittava työkokemus katsotaan riittäväksi yhden vuoden alan työkokemuksen jälkeen. Mikäli mitään edellä mainituista tutkinnoista ei ole suoritettu, vaaditaan kahden vuoden työkokemus alalta. Kummankin ehdon lisäksi vaaditaan joko autoalan sähköpätevyydistutkintoon valmentava koulutus, autoalan sähköturvallisuus-tutkinto tai molemmat. Edellä mainitut vaatimukset täyttävät ammattihenkilönimikkeellä toimimisen ehdot. Sähkötöiden johtaja voi harkinnanvaraisesti myöntää luvan henkilölle toimia ammattihenkilönä sähköajoneuvojen korjaustoimenpiteissä, jos

tällä on usean vuoden kokemus sähkötoista, maahantuojaan koulutustaustaa sähköajoneuvojen korkeajännitepiirien käsittelystä ja hän tuntee turvallisuusmääräykset. Maahantuojaan koulutus katsotaan myös riittäväksi erikseen suoritettavaa koetta lukuun ottamatta, sillä saatava koulutus on merkkikohtainen ja kattaa lain vaatimat turvallisuus- ja teoriasen edellytykset. [2, s. 80; 14, 11 §.]

3.2.3 Sähköturvallisuustutkinto

Autoalan sähköturvallisuustutkinto on tietokoneella suoritettava monivalinta koe, jossa arvioidaan henkilön pätevyys sähköalan säädöksiä ja sähkötyöturvallisuuden kannalta 80 kysymyksen avulla. Tutkinto sisältää 30 kysymystä sähkötoista koskevia säädöksiä, 30 kysymystä sähkötyöturvallisuudesta ja 20 kysymystä yleisesti sähkötekniikasta. Tutkinnon järjestämiseen on haettava lupaa Autoalan keskusliitolta, AKL:lta. Toistaiseksi tutkinnon voi suorittaa vain muutamassa oppilaitoksessa, ajoneuvomaahantuojaan toimesta tai esimerkiksi AEL:n järjestämällä hybridi- ja sähköajoneuvojen sähköturvallisuus 3 -koulutuksessa. [2, s. 84.]

3.2.4 SFS 6002

SFS 6002 -sähkötyöturvallisuusstandardin mukainen koulutus kattaa ideaalitalanteessa koko henkilökunnan aina kiinteistönhuoltohenkilökunnasta työnjohtajaan vaaratilanteiden välttämiseksi. Standardi käsittää muun muassa sähköä aiheuttamat vaarat ja siitä aiheutuvat tapaturmat sekä sähkötyöturvallisuutta koskevien säädösten ja standardin sisällön. Koulutuksesta myönnetään erikseen todistus, jonka saaminen vaatii kuulustelun läpäisemisen ja vahvistaa henkilön tiedostavan sähköä aiheuttamat vaarat ja oikeaoppisen käyttäytymisen sähkötyökohteiden yhteydessä. Koulutusta ei kuitenkaan vaadita esimerkiksi renkaidenvaihtajilta, jolloin korjaamon sähkötoisten johtaja on velvollinen perehdyttämään henkilön ymmärtämään sähköä vaarallisuuden, edellytettävät toimenpiteet tapaturman sattuessa ja varoituskilpien sekä kieltomerkintöjen tunnistamisen. Koulutus on voimassa viisi vuotta, minkä jälkeen se on uusittava.

Standardi asettaa useita eri vaatimuksia liittyen henkilökunnan tietotaitoon ja korjaamon työnjaon organisointiin. Ensiapuvalmiutta koskeva yleissäädos on työturvallisuuslaissa. Tämän lisäksi on erityisesti huolehdittava ensiapuvalmiudesta

sähkön aiheuttamien tapaturmien varalta. Tämän takia kaikille sähkötöihin osallistuville sähköalan ammattihenkilöille työnjohdon ja käytönjohdon henkilöt mukaan luettuna sekä näissä töissä avustamaan opastetuille henkilöille on tarpeen antaa ensiapukoulutus, joka voidaan järjestää esim. seuraavasti: SPR:n hätäensiapukurssi, SPR:n laajempi esim. EA1 -tai muu ensiapukoulutus, joka käsittää ainakin palovammoihin sekä ruhje- ja viiltohaavoihin annettavan ensiavun sekä puhallus- painalluselvytyksen opettamisen ja niitten käytännön harjoittelemisen. [15, s. 43–44.]

Työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja on määrättävä työkohteelle KTM:n päätöksen 516 perusteella. Hänen tehtävänä on valvoa sähkötyöturvallisuuden toteutumista yleisesti, joko osallistumalla työhön tai tekemällä sen kokonaan itse. Työnaikainen sähköturvallisuuden valvoja eroaa sähkötyön johtajasta siten, että edellä mainitun on oltava läsnä työtä tehdessä.

Jännitteettömäksi tekeminen on määritelty standardissa viisiosaiseksi, mutta ajoneuvoihin soveltaessa niistä toteutetaan kolme, jotka ovat järjestyksessä seuraavat:

- täydellinen erottaminen
- jännitteen kytkemisen estäminen
- laitteiston jännitteettömyyden toteaminen.

Sähköajoneuvon täydellinen erottaminen tapahtuu ajoneuvovalmistajan ohjeistuksen mukaisesti merkistä ja mallista riippuen hieman eri tavoin, mutta jokaisesta sähköajoneuvosta tulee löytyä huoltoerotin, jolla ajoneuvon korkeajänniteakusto saadaan erotettua ajoneuvosta. Sen lisäksi että huoltoerotin erottaa akuston, jakaa se myös akkupaketin esimerkiksi Toyota Priuksen tapauksessa kahteen, jolloin erotetun 201,6 V:n korkeajännitejärjestelmän käsittely on sallittua perehdytetyn henkilön toimesta jännitteen ollessa alle 120 VDC. Useissa malleissa erottaminen edellyttää myös 12 voltin käyttöjänniteakun irrottamista, sen ohjatessa korkeajänniteakuston ohjausmoduulin sisältämiä releitä, jotka erottavat korkeajänniteakuston ajoneuvosta katkaisemalla releiden ohjauksen esimerkiksi vikatilanteiden tai onnettomuuden yhteydessä.

Jännitteen kytkemisen estäminen toteutetaan lukitsemalla huoltoerotin asiaan kuulumattomien ulottumattomiin, tai esimerkiksi vastuullisen asentajan on säilytettävä se henkilökohtaisesti, siten ettei korkeajänniteakustoa voida kytkeä tahattomasti. Erotus-

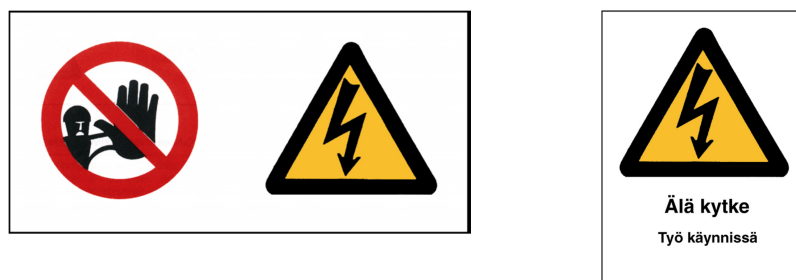
kohta tulee ilmaista asianmukaisin kieltokilvin, joista ilmenee vastuullisen asentajan nimi ja päivämäärä.

Jännitteettömyyden toteaminen on olennainen vaihe, jotta voidaan varmistua, että tarvittavat huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa turvallisesti. Jännitteettömyyden toteaminen on ajoneuvon mallikohtaista, ja täten on siis toimittava valmistajakohtaisen ohjeistuksen mukaan. Jännitteettömyys varmistetaan ennen kaikkea vaihdettavien komponenttien osalta, mutta sähköturvallisuuden kannalta muun ajoneuvon varmistaminen ei ole missään nimessä turhaa. [14, 29f §; 15.]

3.3 Sähkötyöturvallisuus käytännössä

Turvallisuus ja etenkin turvavarusteet voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen: henkilöturvallisuus ja yleinen turvallisuus. Henkilötasolla on huolehdittava suojarustuksesta ja etenkin siitä, ettei käytä sormuksia tai muita metallisia esineitä päällään työskennellessä korkeajännitteen kanssa. Tapaturman sattuessa sormus tai esimerkiksi kaulakoru aiheuttavat vakavia palovammoja ja jopa pysyviä vaurioita. Myöskin työkalujen säilyttämistä taskuissa tulee välttää. Oikeaoppinen suojarustus käsittää ylijänniteluokitellut käsityökalut (SFS 6002, 14-15; SFS-EN 60900, SFS-EN 60903) ja kumiset jännitetyökäsineet, puhtaat työvaatteet, turvajalkineet tai -saappaat, sekä suojalasit, joiden käyttö on suositeltua lähestulkoon kaikilla, varsinkin tekniikan aloilla. Käytännössä suojarustuslistasta toteutuvat kumiset suojakäsineet eli jännitetyökäsineet ja suojalasit. Työ suoritetaan käsin, joten se, että vaaratilanteen esiintyminen ehkäistään heti alkutekijöissään, pienentää sen riskiä huomattavasti. Kumisten suojakäsineitten ylijännitesuojaluokituksen tulee olla vähintään CAT III 1000 V ja niiden käyttökelpoisuus tulee todeta aina ennen käyttöönottoa rullaamalla käsineet siten, että kämmenosa ja sormet pullistuvat väliin jäävästä ilmasta. Ilma ei saa paeta, mikä osoittaisi käsineen eristeen olevan puutteellinen, jolloin käsine on käyttökelvoton. [14, 29e §.]

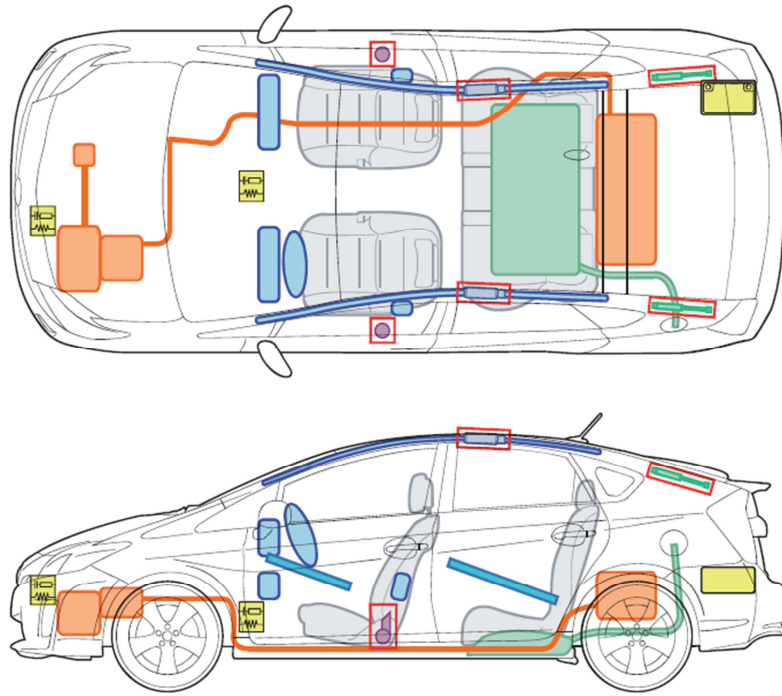
Sähkötyöntekijä on vastuussa myös muiden henkilöiden turvallisuudesta ja on velvollinen ennalta ehkäisemään tahattomia vaaratilanteita. Vastuullinen työntekijä on velvollinen merkitsemään alueen, jossa työn alaisuudessa oleva sähköajoneuvo on, ilmaistakseen korkeajännitetyökohteen. Ajoneuvoon tulee kiinnittää korkeajännitevaroituskylttejä ilmaisemaan vaara (kuva 1). Vaaditut kiello- ja varoituskilvet löytyvät SFS 6002 standardin liitteestä V. [14, 29h §.]



Kuva 1. Varoitus- ja kieltokylttiesimerkit

3.4 Turvallisuus poikkeustilanteissa

Uusi teknologia ja korkea jännite luovat haasteita pelastushenkilökunnalle. Onnettomuustilanteessa on saatava tietoon mahdolliset korkeajännitelinjat ja kohdat, joista ajoneuvoa voi turvallisesti käsitellä. Sähköajoneuvoissa on 12 voltin käyttöjänniteakun ohjauksen alaisena yleisesti kolme relettä eli kontaktoria, jotka ohjaavat sähköisesti korkeajänniteakun erotusta. Akkujen valvontajärjestelmään on integroitu ominaisuus (interlock-piiri), jolloin korkeajänniteakusto erotetaan ajoneuvosta onnettomuustilanteessa, minkä jälkeen ajoneuvo on korkeajänniteakkupakettia lukuunottamatta turvallinen käsitellä. On kuitenkin mahdollista, että onnettomuus on aiheuttanut turvajärjestelmän vikaantumisen, jolloin on turvallisempaa varmistaa ajoneuvon korkeajännite linjojen sijainnit. Pelastuslaitoksella on oma tietokanta, josta he voivat mallikohtaisesti varmistaa ajoneuvon pelastuskortista komponenttien sijainnit. Pelastuskortista ilmenee akkujen sijainnit, polttoainesäiliön sijainti, SRS-turvajärjestelmän komponenttien sijainnit sekä korkeajännitelinjat. Pelastuskortit ovat kaikkien oikeus, joten ne ovat saatavilla ajoneuvon valmistajan sivuilta. Ajoneuvo-purkamaille on myös oma sähköinen ajoneuvovalmistajien ylläpitämä IDIS-tietokanta turvallisen käsittelyn takaamiseksi. [2, s. 48, 51, 53, 70–71.] Seuraavalla sivulla on Toyota Prius mallisen hybridiajoneuvon pelastuskortti, sekä käytettyjen symbolien selitykset.



Kuva 2. Prius -pelastuskortti

Pelastuskortin symbolien selitykset

	Airbag		Vahvistettu rakenne		Ohjainlaite		Kaasupanos
	Kaasutäytteinen jousi		Akku		Turvakaari		Turvavyön kiristin
	Turvavyön kiristin		Polttoaine säiliö		Kaasusäiliö NGT/LPG		Varoventtiili NGT/LPG
	Korkeajännite komponentti		Korkeajännite linja/ komponentti		Korkeajännite erotuskytkin		Korkeajännite akusto
	Mekaaninen tunnistin						

Kuva 3. Pelastuskortin symbolien selitykset

3.5 UNECE-R-100

Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan Talouskomission sääntö numero 100 esittää yhdenmukaiset vaatimukset, jotka koskevat ajoneuvojen hyväksyntää sähköiseen voimansiirtojärjestelmään sovellettavien erityisvaatimusten osalta. Sääntö käsittää laajan sähköturvallisuutta koskevan selonteon sähkö- ja hybridiajoneuvoilta vaadittavista ominaisuuksista. Säännössä lueteltuja vaatimuksia ovat muun muassa seuraavat:

- koteloimattomat korkeajänniteväylien kaapelit on merkittävä oranssilla ulkokuorella
- jännitteiset osat on suojattava kosketukselta
- korkeajänniteakun erottamiseksi muusta ajoneuvosta on oltava huolto-katkaisin tai erotuskytkin
- mitattavan virtapiirin jännitealue on selvitettävä etukäteen esimerkiksi piirroskaaviosta
- ajoneuvon integroitu erotusresistanssin seurantajärjestelmä [3].

Myös standardeissa ISO 6469-1:2009, -2:2009, -3:2011 ja -4 (työn kirjoitus hetkellä keskeneräinen) määrittää sähköturvallisuusvaatimukset sähkö-, hybridi- sekä poltto-kennoajoneuvoille. 1. osa määrittää vaatimukset ladattavan energiavarastojärjestelmän henkilöturvallisuuden kannalta. 2. osa määrittää vaatimukset sähkötyö-turvallisuuden ja vikasuojauksen kannalta. 3. osa määrittää suojausvaatimukset henkilöturvallisuuden kannalta. 4. osa määrittää turvallisuusvaatimukset kolari ja onnetto-muustilanteissa.

3.6 Käytännön organisointi

Sähkötöiden johtaja (taulukko 6) ja ammattihenkilö saa tehdä korkeajänniteakuston jännitteettömäksi. Opastettu henkilö saa vaihtaa korkeajännitekomponentteja, kuten esimerkiksi ilmastoinnin korkeajännitekompressorin, kunhan korkeajänniteakusto on ensin asianmukaisesti tehty jännitteettömäksi sähkötyöjohtajan tai ammattihenkilön toimesta. Maahantuojan koulutuksen suorittanut ja rajoitetun sähköturvallisuustutkimuksen suorittanut asentaja katsotaan päteväksi toimimaan itsenäisesti korkeajännitejärjestelmän kanssa. Esimerkiksi Toyotalla kaikki asentajat käyvät lähtökohtaisesti saman koulutuksen, joten kaikki voivat toimia korkeajännitejärjestelmän kanssa.

Esimerkiksi Volkswagen taas panostaa erikoisosaamiseen, jolloin perehdytetty henkilö saa ajaa korkeajänniteajoneuvon halliin suoraan ammattihenkilölle, joka vaadittavien huoltotoimenpiteiden mukaisesti saattaa ajoneuvon jännitteettömäksi ja suorittaa tarvittavat tarkistusmittaukset. Tämän jälkeen perehdytetty asentaja saa vaihtaa järjestelmän komponentteja sillä huoltoerottimen ollessa erotettu, on korkeajänniteakun jännite alle 120 VDC, jonka kanssa toimiminen ei edellytä pätevyyttä. Kun huolto on valmis, viedään ajoneuvo takaisin ammattihenkilölle, joka suorittaa tarvittavat tarkastusmittaukset, minkä jälkeen ajoneuvo on valmis luovutettavaksi asiakkaalle. [18; 20.]

Aina kun korkeajänniteakusto kytketään jännitteettömäksi, tulee laatia dokumentti, josta tulee ilmetä pääpiirteittäin se, että järjestelmä on tarkistettu jännitteettömäksi, eristysvastusmittaus vaihdetulle tai korjatulle komponentille on suoritettu ja on ohjearvojen mukainen, jotta voidaan varmistua oikeaoppisesta asennuksesta sekä jännitteen takaisin kytkemisen oikeellisuudesta. Dokumentoinnin laaduissa on eroja valmistaja-kohtaisten vaatimusten mukaisesti, mutta lähtökohtaisesti korkeajännitemittalaitteet ohjelmistoinen tallentavat läpikäydyt protokollat luoden dokumentin, josta ilmenee ammattihenkilö, aika ja päivämäärä, tarkastetut kohteet ja mitta-arvot. Dokumentointi tunnetaan valmistajien ohjeistuksissa, ohjelmistoissa ja puhekielisesti yleisesti nimellä protokolla, joka näyttää toteen suoritettut vianhaut ja mittaukset, sekä ajoneuvon tiedot järjestelmässä näkyvineen vikoineen. [16, 3–4 §; 17, 5 §.]

Taulukko 6. Tarvittava osaaminen hybridi- ja sähköautotekniikassa AKL:n mukaan [18]

Sähkötöiden johtaja	Työnaikainen sähkö-työturvallisuuden valvoja	Opastettu henkilö	Muu henkilö
Ammattihenkilö	Ammattihenkilö	Tiettyyn työhön opastettu henkilö (esimerkiksi korimekaanikko)	Henkilöt, jotka voivat joutua tekemisiin tuotteen kanssa (esim. automyyjät, varaosamyyjät, auton käyttäjät, siivoojat)
	Aina paikalla		
SFS 6002 sovellettuna autoalalla + koe	SFS 6002 sovellettuna autoalalla + koe	SFS 6002 sovellettuna autoalalla + koe	Perehdytys: Sähkön vaarat ja toiminta onnettomuustilanteessa (SFS 6002)
Ensiapukoulutus	Ensiapukoulutus	Ensiapukoulutus	
Mallikohtainen tuotetuntemus	Mallikohtainen tuotetuntemus	Mallikohtainen tuotetuntemus	
Valtakunnallinen rajoitettu S3-koe ja rajoitettu S3 sähköpätevyys	Suositus: Valtakunnallinen rajoitettu S3-koe		

4 Bosch FSA 050 -mittalaite

4.1 Korkeajännitejärjestelmien mittauksissa huomioitavaa

4.1.1 Mallikohtainen ohjeistus ja järjestelmän rakenteen tunteminen

Korkeajännitejärjestelmien mittaustoimenpiteet poikkeavat ajoneuvojen välillä mallikohtaisesti. Valmistajakohtaisia vaatimuksia ja ohjeistusta tulee noudattaa, jotta voidaan varmistua mitattavan kohteen turvallisuudesta muun järjestelmän kannalta herkemmän elektroniikan suojelemiseksi ja jotta saatavat mittaustulokset ovat luotettavia ja vertailukelpoisia ohjeistuksen kanssa. KTMp 516 pykälän 29b mukaan sähkötyötä suorittavan henkilön tulee olla selvillä sähkölaitteiston rakenteesta ennen itse työn aloittamista. Työntekijällä on siis oltava käytettävissään tietokanta, josta ilmenee kyseisen mallin korkeajännitejärjestelmän kytkentäkaavio. Mittauksia suorittaessaan asentajan tulee olla tietoinen, mitä mittauksen piiriin kuuluu. Esimerkiksi mahdollisten sellaisten sulakkeiden olemassaolo, jotka eivät ilmene jännitteettömyysmittauksessa. Mahdollisesti palanut sulake voi aiheuttaa vaaratilanteen, kun sulakkeen takana olevat järjestelmät voivat jäädä jännitteellisiksi. Tämän vuoksi jännitteettömyys on tarvittaessa tarkistettava komponenttikohtaisesti ennen käsittelyä, jotta voidaan varmistua turvallisesta työskentelystä. Valmistajan ohjeistus sisältää myös mittaajajännitteet eristysvastusmittauksille, joita noudatettaessa vältetään ylimääräisiltä vaurioilta. [14, 29b §.]

4.1.2 Erotuskytkimien ja huoltoerottimien laatu

Erotuskytkimen tai huoltoerottimen tilalle on ajoneuvon mallista riippuen olemassa suojakansia. Esimerkiksi Volvo V60-plug-in-hybridissä on käytössä suojakansi, joka peittää avoimet korkeajännitejärjestelmän kosketinpinnat ja myös suojakansi, johon on sijoitettu kaksi paikkaa mittapäille jännitteettömyyden tarkistamista varten. Mercedes Benz käyttää S400-hybrid-mallissaan erotuskytkintä, joka lukitaan paikalleen avaimella, joka erottaa korkeajännitejärjestelmän ja jossa on paikat mittapäille järjestelmän kummankin korkeajännitepiirin mittaamiseksi. Toyota ei käytä Priuksessaan huoltoerottimen tilalle minkäänlaista suojakantta, mutta erotetun järjestelmän tahaton kytkeminen on mahdotonta kosketinpintojen suojatun suunnittelun ansiosta.

4.1.3 Mittalaitteiston tarkastaminen ennen mittauksia

Mittalaitteen kunto ja näyttämä tulee tarkastaa ennen mittauksia. Mittalaite saattaa esimerkiksi näyttää oikein vaihtojännitettä, mutta virheellisesti tasajännitettä. Mittalaitteen tarkistamiseksi sen mittapää tulee kytkeä 230 VAC -lähteeseen, esimerkiksi pistorasiaan, jolloin lukemaksi tulisi saada noin 230 V. DC -näyttämän tarkistamiseksi mittapää tulee kytkeä esimerkiksi 12 voltin akkuun tai tasajännitelähteeseen, jonka jännite tiedostetaan, jotta voidaan varmistua oikeasta näytelmästä. Myös laitteen mittajohtimien vastusarvo tulee tarkastaa ennen mittauksia ja tarpeen vaatiessa kompensoida joko manuaalisesti tai mahdollista mittalaitteen sisäänrakennettua ominaisuutta hyödyntäen, joka halutessa nolaa senhetkisen arvon kalibroinnin tavoin.

4.1.4 Sähkötyöturvallisuus

Henkilökohtaisesta suojavarustuksesta tulee huolehtia, sillä korkeajännitejärjestelmää käsiteltäessä potentiaalisia vaaratilanteita on useita. Jännitetyökäsineitä suositellaan mielummin käytettävän liian usein, sen sijaan että niitä ei käyttäisi esimerkiksi lainkaan. Suojalasien ja siistin suoja-asun käyttö on tärkeää, sillä esimerkiksi irroitettaessa huoltoerotinta korkeajänniteakustosta, on olemassa riski valokaarelle, joka voi aiheuttaa henkilövahinkoja. Valokaaren muodostuminen ei ole harvinaista, mikäli järjestelmää käsitellään huolimattomasti, sillä tasajännitteinen korkeajänniteakusto ollessaan aktiivinen voi synnyttää valokaaren irroitettaessa huoltoerotinta, joka seuraa erottimen kosketinpintaa. Vaihtojännitepiirissä valokaaren syntyminen on harvinaisempaa, sillä 50 hertsin taajuudella vaihtuva suunta ja jännite saavat mahdollisen syntyneen valokaaren sammumaan nopeasti. Sähkötyöalue tulee merkitä selvästi varoituskyltein ja mikäli työtä suorittava henkilö poistuu välillä paikalta, on hänen palatessaan varmistettava jännitteettömyys uudemman kerran.

4.1.5 Jännitteettömäksi kytkiessä

Jännitteettömäksi tekeminen ja sen tarkistaminen, kuten kaikki toimenpiteet, edellyttävät huolellisuutta ja järjestelmän tuntemista. Akunhallintajärjestelmän käyttöjännitelähteenä toimivan 12 voltin akun miinusnavan irrottaminen tulkitaan yleisesti katkaisevan korkeajännitepiirin kontaktorien ohjauksen, sen kuitenkin olematta itsestäänselvyys. Avainten ollessa virtalukossa tai esimerkiksi järjestelmän ollessa vikatilassa,

voi korkeajännitejärjestelmä olla aktiivinen ja DC/DC -muunnin muuntaa korkeajänniteakulta saamaansa korkeaa jännitettä 12 volttiin, jolloin miinusnapa irroitettuna akunhallinnan jännite ei katkeakaan ja kontaktorit eivät kytkeydy irti. Akunhallintajärjestelmä ei osaa erotella, saako se käyttöjännitteensä 12 voltin akulta vai DC/DC -muuntimelta, joten järjestelmä jää aktiiviseksi. Tämän vuoksi irroitettaessa 12 voltin akun miinusnapa, tulee tarkastaa jännitteettömyys myös plus navasta maadoitusta vasten, jotta voidaan varmistua, että akunhallintajärjestelmä kytkeytyy pois päältä ja erottaa korkeajännitepiirin. [19]

4.1.6 Mittaustulosten tulkitseminen

Korkea tai käytännössä ääretön vastuslukema on toivottu mittaustulos eristysvastusmittaukselle, mutta se voidaan myös tapauskohtaisesti tulkita viaksi. Irrallinen tai jopa katkennut johdin tuottaa tulokseksi äärettömän vastuksen, sillä yhteyttä maahan ei ole. Sama voidaan simuloida pitämällä mittapäitä ilmassa ja suorittamalla eristysvastusmittaus, jolloin mittalaite näyttää maksimivastusarvon ylittyneen. Niinpä mittauksia suoritettaessa tulee muistaa myös ettei äärettömän korkea vastusarvo ole aina toivottu asia.

4.2 Mittalaitteen perusominaisuudet

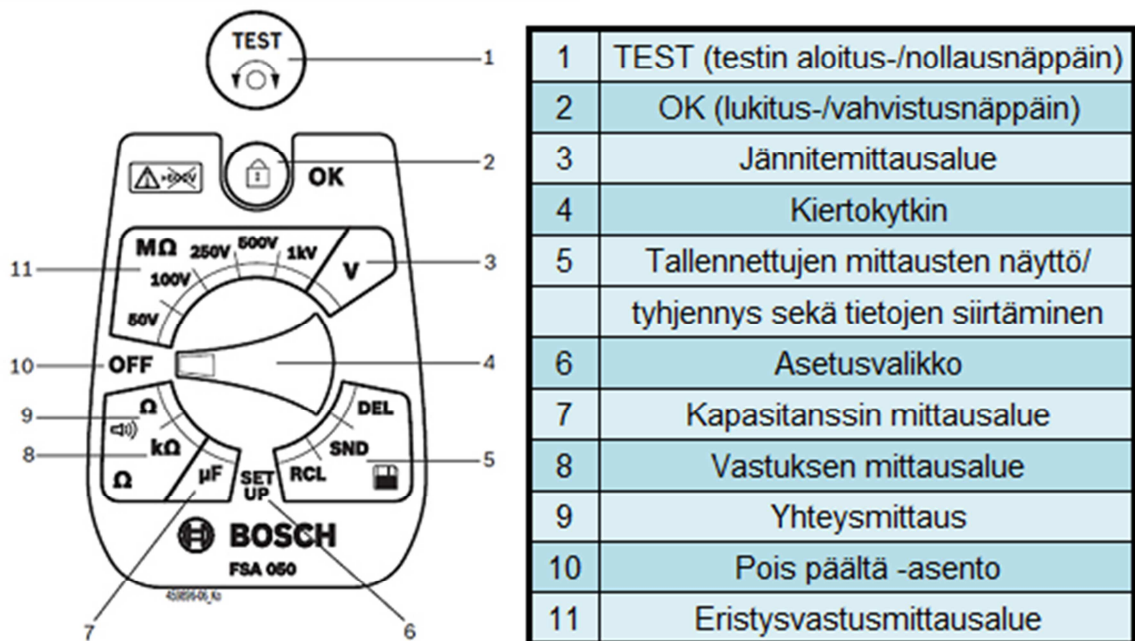
Bosch FSA 050 on käsikäyttöinen mittalaite, joka toimii niin perinteisenä yleismittarina, kuin sähkö- ja hybridiajoneuvoihin tarkoitettuna korkeajännite- ja eristysvastusmittalaitteena. Mittalaitteella voidaan mitata perinteisiä mittauksia kuten jännitettä, kapasitanssia, resistanssia ja myös sähkö- ja hybridiajoneuvojen yhteydessä tarvittavia eristysvastusmittauksia, korkeajännitejärjestelmän jännitteettömyysmittauksia sekä yhteysmittauksia.

Mittalaitteen mukana toimitetaan CompacSoft[plus] -ohjelmisto, jonka avulla mittaustulokset saadaan siirrettyä langattomasti Bluetooth -yhteyden avulla tietokoneelle tai FSA 500/7XX -testilaitteisiin reaaliajassa. Vaihtoehtoisesti käytettäessä mittalaitetta stand-alone -tilassa voidaan tulokset siirtää jälkikäteen mittalaitteen muistista taulukkomuodossa tietokoneelle.

4.3 Mittalaitteen käyttö

Mittalaitetta voidaan käyttää itsenäisesti (STA) tai yhdistettynä tietokoneeseen (FSA). Luvuissa 4.4 - 4.8.4 käsitellään mittalaitteen käsittelemistä manuaalisesti itsenäisessä tilassa. Luvussa 5 käsitellään mittausta mittalaitteen ollessa liitettynä CompacSoft[plus]-ohjelmistoon.

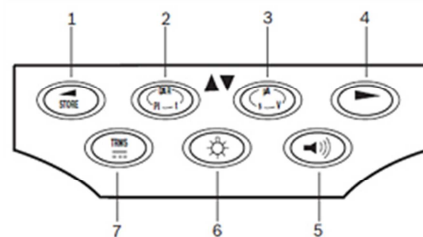
FSA 050 -mittalaitteessa on kiertokytkin, jonka avulla voidaan ennen kaikkea kytkeä laite päälle ja pois sekä valita haluttu mittausten menetelmä. Alla olevaan kuvaan on numeroitu kytkimen valintakiekon alueet sekä niiden selitykset. Liitteessä 1 on esitelty mittalaitteen mitta-alueet mittausten menetelmineen.



Kuva 4. FSA 050 -mittalaitteen kiertokytkimen asennot

Mittalaitteeseen sijoitetut toimintonäppäimet mahdollistavat itsenäisen käytön. Näppäimistä voi valita halutun muistipaikan, mittausten menetelmän (DAR, PI, ins ja t), mitattavat suureet (μA , s tai V), taustavalaistuksen sekä summerin aktivoinnin. Seuraavalla sivulla olevaan kuvaan 5 on numeroitu toimintonäppäimet sekä niiden selitykset. Asetuksista voidaan säätää kynnysarvo yhteysmittauksessa, joka oletuksena on 2 ohmia, virta yhteysmittauksessa, joka oletuksena on 20 mA, kynnysarvo

eristysmittauksissa, joka oletuksena on 0,5 Mohmia, suojajännite eristysmittauksissa, joka oletuksena on 12 V sekä eristysmittauksen kesto (t), joka oletuksena on 1 min.



1	STORE (mittaustuloksien tallennus tai valintanäppäin asetusvalikossa)
2	DAR/PI/t tai ▲ (eristystesti tai tallennettujen mittauservojen valinta)
3	μA/s/V tai ▼ (näyttö ampeereina, sekunteina tai voltteina. Tallennettujen mittauservojen valintanäppäin)
4	JATKA (valintanäppäin asetusvalikossa)
5	Summeri päälle/pois
6	Taustavalaistus päälle/pois
7	TRMS tai DC

Kuva 5. FSA 050 -mittalaitteen toimintonäppäinten selitykset

Mittalaitteen näytöstä ilmenee mittaustulokset digitaalisesti sekä analogisesti. Näyttö on jaettu useaan osaan, jotta mitattaessa voidaan kerralla nähdä mittauksen kannalta olennaiset arvot. Alla olevaan kuvaan 6 on numeroitu näytön segmentit ja niiden selitykset.



1	Yhteystestin symboli
2	Digitaalinen apunäyttö
3	Apunäytön yksikkö
4	Summeri päällä
5	Patterien varaustilan näyttö
6	Analoginäyttö
7	Symboli TRMS (AC)
8	Päänäytön yksikkö
9	Digitaalinen päänäyttö mitta-arvoille ja tilalle (FSA/STA)
10	Mittausjohtojen nollauksen symboli
11	Alueen ylityksen symboli
12	Viallisen sulakkeen symboli
13	Eristystestin symboli (testausjännite on kytketty)
14	Lukituksen symboli (eristystesti)

Kuva 6. FSA 050 -mittalaitteen näytön segmenttien selitykset

4.4 Tuloksien tallentaminen, poistaminen, tarkistaminen ja lähettäminen

Mittaustulokset voidaan tallentaa toimintonäppäimen avulla laitteen sisäänrakennettuun muistiin, jonka kapasiteetti on 1000 mittaustulosta. Jännite- ja kapasitanssimittauksen tuloksen tallentamiseksi on tallennus suoritettava mittauksen aikana painamalla toimintonäppäintä "STORE" (kuva 5, kohta 1). Resistanssi-, yhteys- ja eristystestin mittaustulokset tallentuvat näytölle väliaikaisesti mittauksen päätyttyä, minkä jälkeen ne voidaan tallentaa pysyvästi mittalaitteen muistiin toimintonäppäimen avulla (kuva 5, kohta 1). Tallentaessa mittaustulosta näkyy digitaalisessa näytössä tuloksen tallennuksen järjestysluku.

Mittaustuloksien poistaminen on mahdollista testi kerrallaan tai kaikki testit kerralla. Tuloksien poistamiseen tulee mittalaitteen kiertokytkin kiertää vastapäivään ääriasentoonsa "DEL" -asentoon (kuva 4, kohta 5). Kiertokytkimen ollessa tässä asennossa mittalaitteen digitaalisessa näytössä näkyy viimeisimmän mittauksen järjestysluku ja apunäytössä "DEL" sekä analoginen näyttö ilmaisee käytetyn muistin määrän. Toimintonäppäinten ▲ ja ▼ avulla (kuva 5, kohdat 2 ja 3) voidaan valita haluttu mittaustulos ja poistaa se lukitusnäppäimellä (kuva 4, kohta 2). Kaikkien mittaustuloksien poistaminen suoritetaan painamalla toimintonäppäintä (kuva 5, kohta 4), jolloin järjestysluvun tilalle ilmestyy teksti "ALL". Poisto vahvistetaan lukitusnäppäimellä (kuva 4, kohta 2).

Mittaustuloksien tarkistaminen mittalaitteen muistista on mahdollista mittaus kerrallaan. Tarkistaaksesi mittaustuloksia tulee mittalaitteen kiertokytkin kääntää valintakiekon asentoon "RCL" (kuva 4, kohta 5). Kiertokytkimen ollessa tässä asennossa mittalaitteen digitaalisessa näytössä näkyy viimeisimmän mittauksen järjestysluku ja apunäytössä "id". Toimintonäppäinten ▲ ja ▼ avulla (kuva 5, kohdat 2 ja 3) voidaan valita haluttu mittaustulos ja tutkia sitä painamalla lukitusnäppäintä (kuva 4, kohta 2). Mittausmenetelmästä riippuen järjestysluvun perässä näkyy mittaukseen viittaava symboli: Ω -yhteys ja resistanssitestit, $M\Omega$ -eristysvastustesti, V - jännitemittaus ja μF - kapasitanssimittaus. Mittausmenetelmä määrää tallennettavan tiedon, esimerkiksi eristysvastusmittauksen DAR-testin tuloksessa on näkyvillä suurin resistanssiarvo, DAR-arvo sekä mittaustulokset hetkinä t1 ja t2.

Tallennettujen mittauksien lähettämistä käsitellään CompacSoft[plus] -ohjelmiston yhteydessä luvussa 5.

4.5 Jännitemittaus

FSA 050 toimii mittausaluevalinnaltaan automaattisesti jännitemittauksissa. Mittalaite tulkitsee AC -jännitteen ja taajuuden sekä DC -jännitteen ja näyttää tuloksen analogisesti (kuva 6, kohta 6) ja digitaalisesti (kuva 6, kohta 9) eritellen suuruusluokan desimaalia siirtämällä ja numeronäytön perässä esiintyvällä suuremerkinnällä ($\mu V, mV, V, kV$) (kuva 6, kohta 8). Jännitemittausta voidaan käyttää perinteisen yleismittarin tavoin toimintajännitteiden, jännitehäviöiden, jännitepiikkien ja esimerkiksi maadoitusten mittaukseen.

Tehdessä korkeajännitejärjestelmää jännitteettömäksi on se todettava mittalaitteen avulla valmistajan määräämistä kohteista. Jännitemittauksia suoritettaessa mittalaitteen kiertokytkimen tulee olla myötöpäivää kiertäessä äärioikeassa asennossa V-alueella (kuva 4, asento 3). Jännitteettömyyden tarkastaminen on dokumentoitava mittaus, joka tallentuu mittalaitteen sisäiseen muistiin ja on siirrettävissä Bluetoothin välityksellä tietokoneelle tai FSA 500/7XX -laitteille tulostamista varten.

Ennen jännitteettömyyden tarkastamista, on syytä muistaa 10 minuutin tai valmistajan määräämän mittainen odotusaika, jotta järjestelmän kapasitiiviset osat ehtivät purkautua.

4.6 Resistanssi ja yhteysmittaus

Resistanssia mitatessa FSA 050 -mittalaitteella syötetään mittauskohteeseen oletusarvoisesti 20 mA:n mittausvirta, jonka avulla voidaan tarkistaa kyseisen kohteen resistanssi. Mittausvirta on nostettavissa arvoon 200 mA esimerkiksi valmistaja-kohtaisen ohjeistuksen vaatiessa korkeampaa mittausvirtaa. Mittalaite näyttää tuloksen analogisesti sekä digitaalisesti ja jättää viimeisimmän arvon digitaaliseen apunäyttöön (kuva 6, kohta 2). Resistanssimittausta suoritettaessa mittalaitteen näyttö ilmaisee muodostuneen yhteyden paitsi muuttuvan analogisen ja digitaalisen resistanssiarvon avulla, myös yhteystestin symbolin (kuva 6, kohta 1) ja haluttaessa aktivoitavan äänimerkin avulla (kuva 5, kohta 5 sekä kuva 6, kohta 4). Resistanssin mittausalue ulottuu 0 ohmista 1000 kilo- eli 1 megaohmiin.

4.6.1 Resistanssin ja yhteyden mittaaminen

Resistanssimittauksella voidaan selvittää johtimien, liittimien, liitäntöjen, maadoitusten ja tiettyjen komponenttien esimerkiksi antureiden ja tunnistimien kunto. Resistanssi- ja yhteysmittaukselle on kaksi kiertokytkimen asentoa jotka sijaitsevat valintakiekon "OFF" -asennon alapuolella vastapäivään kiertäessä kohdat Ω ja $k\Omega$ (kuva 4, asennot 8 ja 9). Asennoista ensimmäinen on pienempien resistanssien mittaukseen väliltä 0 – 100 ohmia ja jälkimmäinen väliltä 0–1 megaohmi. Mittaukseen käytettävän mittausvirran voi valita asetusvalikon (kuva 4, kohta 6) kautta I_{Sc} -valikosta, jolloin vaihtoehtoina ovat 20 mA ja 200 mA.

Ennen mittauksia tulee huomioida mittalaitteen mittausjohtimien resistanssi. Tätä varten mittalaitteessa on nollaustoiminto, jolloin yhdistettäessä mittapää eli sulkiessa piiri voidaan käyttää plus -mittausjohtimen varressa olevaa kytkentä näppäintä tai mittalaitteen "TEST" -näppäintä (kuva 4, kohta 1), jolloin näytelmä nollautuu ja näin ollen mittausjohtimien aiheuttama resistanssi on huomioitu mittauksessa. Nollauksen ollessa aktiivinen ilmaantuu näyttöön mittausjohtimien nollaussymboli (kuva 6, kohta 1).

4.6.2 Yhteysmittaus sähkö- ja hybridiajoneuvoissa

Yhteysmittauksen avulla voidaan tarkistaa esimerkiksi sähkömoottoreiden vaiheiden välisten staattorikämmien kunto. Esimerkiksi mitatessa Toyota Prius W20:tä sähkömoottoreiden staattorikämejä tehoelektroniikkayksiköstä, kytketään mittajohtimet vuorotellen korkeajännitevaihejohtimien U-V, U-W ja V-W välille, jolloin voidaan todeta staattorikämmien kunto. Irroitettaessa mittapää mitattavasta kohteesta jää digitaaliseen apunäyttöön näkyviin viimeisin vastusarvo irrotushetkellä kahden desimaalin tarkkuudella.

4.7 Kapasitanssin mittaus

Kapasitanssia mitatessa järjestelmän kapasitiivisista osista tai komponenteista, esimerkiksi kondensaattoreista tai puolista, voidaan FSA 050 -mittalaitetta käyttää mittauksiin suuruudeltaan 100 pikofaradia (10^{-12}) - 10 mikrofaraadia (10^{-6}). Mittauks tulokset näkyvät näytöltä mittauksen aikana digitaalisesti ja ne voidaan tallentaa

mittauksen aikana. Mittajohtimien aiheuttama hajakapasitanssi voidaan nollata plusjohtimen varressa olevasta kytkimestä tai mittalaitteen "TEST" -näppäimestä, jolloin mittajohtimen nollaussymboli ilmestyy näyttöön. Kapasitanssin mittausta varten tulee kiertokytkin asettaa μF asentoon (kuva 4, asento 7), joka on valintakiekolla kolmas "OFF" asennosta alaspäin vastapäivään kiertäessä.

4.8 Eristysvastustesti

4.8.1 Yleistä

Eristysvastuksen mittaukseen on olemassa neljä mittaamenetelmää viidellä eri mittaajännitteellä (50, 100, 250, 500 ja 1 kV). Yleisesti vähimmäismittaajännitteenä pidetään puolta käyttöjännitteestä, mutta vikatilanteiden aiheuttamien ylijännite-transienttien vuoksi tulisi mittaukset suorittaa kaksinkertaisella jännitteellä käyttöjännitteeseen verrattuna. Jotta vältetään komponenttien vaurioittamiselta mittauksen yhteydessä, on käytettävä mittaajännite valittava valmistajan ohjeistuksen perusteella. Vaihtoehtoiset mittaamenetelmät ovat aiemmin luvussa 2.4.8 käsitellyt INS, DAR, PI ja t eli aikaperusteinen testi. Eristysvastus arvo on mitattavissa 200 gigaohmiin saakka.

Eristysvastusta mitatessa näytetään vastusarvo analogisesti ja digitaalisesti, sekä digitaalisesta apunäytöstä ilmenee käytetty mittaajännite. Mittauksen aikana näytössä vilkkuu korkeasta mittaajännitteestä varoittava huutomerkkillinen varoituskolmio (kuva 6, kohta 13). Eristysvastusmittaus on jaettu viidelle eri kiertokytkimen asennolle valintakiekolla (kuva 4, kohta 11), jotka sijaitsevat "OFF" -asennosta myötäpäivään kiertäessä viidellä peräkkäisellä asennolla. Eri mittaamenetelmien valitseminen suoritetaan toimintonäppäinten avulla (kuva 5, kohta 2). Eristysvastusmittauksella kyetään tarkistamaan korkeajännitejärjestelmän johtimien eristyksen kunto, jopa käyttöjännitettä suuremmalla jännitteellä, jolloin eristeen riittävyys voidaan varmistaa mahdollisten ylijännitetransienttien varalle.

Mittauksen jälkeen mittalaitteen mittapäiden tulee antaa olla kytkettynä mittaushaasteessa, jotta mittalaite kykenee purkamaan mittauksen aikaansaaman varauksen järjestelmästä, kunnes mittarin digitaaliapunäyttö näyttää lukemaa 0 V. Tämän vaiheen

noudattamatta jättäminen saattaa jättää mitatun kohteen varautuneeksi, jopa satojen volttien suuruiseksi varaukseksi.

4.8.2 Manuaalinen eristystesti INS

Mittausmenetelmä mahdollistaa käyttäjälle vapauden päättää mittauksen kesto. Esimerkiksi pelkän lyhyen johtimen eristeen tarkistamiseen ei ole välttämätöntä käyttää pitkää aikaa, jos kyseessä on esimerkiksi viallisen eristeen varmistaminen, joka vuotaa välittömästi sitä mitatessa. Vaihtoehtoisesti suuren sähkömoottorin käämityksen tarkistaminen vaatii pidemmän ajan, jolloin mittalaite voidaan lukita mittaamaan ja eristuksen arvon käyttäytymistä voidaan seurata. Mittalaite tallentaa eristysvastuksen, vuotovirran, mittausjännitteen sekä mittauksen keston.

Manuaalisen eristystestin "INS" voi valita mittalaitteesta toimintonäppäimellä 2 (kuva 5, kohta 2). Eristystesti aktivoidaan painamalla plus-mittajohtimen varressa olevaa painiketta tai mittalaitteen "TEST" näppäintä. Painike tai näppäin tulee pitää painettuna tai vaihtoehtoisesti käyttämällä lukitusnäppäintä (kuva 4, kohta 2), jolloin ensin "TEST" -näppäin painettuna, painetaan lukitusnäppäintä minkä jälkeen mittaus on lukittu päälle ja kummatkin näppäimet voidaan vapauttaa. Mittaus säilyy aktiivisena, kunnes se erikseen päätetään. Mittauksen päättämiseksi lukituksen ei ollessa käytössä vapautetaan "TEST" -näppäin. Mikäli lukitus on käytössä tulee "TEST" -näppäintä painaa kerran, joka päättää mittauksen.

Mittauksen aikana mittalaitteen digitaali- ja analoginäytöllä näytetään senhetkinen eristysvastusarvo ja digitaaliapunäytöllä mittausjännite. Apunäytön näyttämää voidaan vaihtaa toimintonäppäimen ▼ avulla (kuva 5, kohta 3), jolloin voidaan vaihtoehtoisesti seurata mittausjännitettä, kulunutta aikaa tai vuotovirtaa.

4.8.3 T- eli aikaperusteinen testi

Mittausmenetelmä on vastaava kuin edellä mainittu manuaalinen eristystesti, mutta aikaperusteisessa käyttäjä voi määritellä mittausajan asetuksista väliltä 1 - 10 minuuttia, jonka jälkeen aktivoidessaan testin suorittaa mittalaite eristystestin itsenäisesti määrätyn ajanjakson kestoiselta ajalta. Testi soveltuu hyvin tilanteisiin mikäli kyseisen mittauskohteen tiedetään antavan luotettavan tuloksen tietyn ajan jälkeen.

Hypoteettisena esimerkkinä korkeajännitejohtimen mittaamiseen voidaan valita esimerkiksi 2 minuuttia, sillä siinä ajassa eriste ehtii muodostaa vuotovirran, mikäli eriste on viallinen, sillä suorassa johtimessa stabiili tila saavutetaan nopeasti käämistysten puuttuessa. Yleisesti vuotovirran käyttäytymisen tarkkailuun voidaan valita myös 10 minuuttia jolloin nähdään purkautuvatko järjestelmän kondensaattorit purkuvastuksen avulla odotetusti. Mittalaite tallentaa eristysvastuksen, vuotovirran, mittausjännitteen sekä mittauksen keston sekunteina.

Aikaperusteisen eristystestin ”t” voi valita mittalaitteesta toimintonäppäimellä 2 (kuva 5, kohta 2). Eristystesti aktivoidaan painamalla plus -mittajohtimen varressa olevaa painiketta tai mittalaitteen ”TEST” -näppäintä. Painiketta tai näppäintä tulee painaa kerran, minkä jälkeen mittaus aloitetaan ja lopetetaan automaattisesti ennalta määrätyn ajanjakson kuluttua. Mittaus voidaan myös keskeyttää painamalla painiketta tai näppäintä testin aikana.

Mittauksen aikana mittalaitteen digitaali- ja analoginäytöllä näytetään sen hetkinen eristysvastusarvo ja digitaaliapunäytöllä mittausjännite. Apunäytön näyttämää voidaan vaihtaa toimintonäppäimen ▼ avulla (kuva 5, kohta 3), jolloin voidaan vaihtoehtoisesti seurata mittausjännitettä, jäljellä olevaa aikaa tai vuotovirtaa.

4.8.4 Dielektrisen absorptiovirransuhteen testi DAR

Mittausmenetelmällä saadaan selville mittauskohteen eristysvastus arvo kahden eri tuloksen suhteesta. Mittalaite ottaa automaattisesti eristysvastus tuloksen 30 sekunnin ja 60 sekunnin kohdalla ja näiden suhteen avulla voidaan tulkita vuotovirran käyttäytymistä mittauskohteessa kaavalla R_{60}/R_{30} . Mittaustulosten tulkitsemisessa noudatetaan taulukossa 6 esiteltyjä arvoja. Mittalaite tallentaa eristysvastus arvot t1 ja t2, DAR -arvon, mittausjännitteen sekä vuotovirran.

DAR -eristystestin voi valita mittalaitteesta toimintonäppäimellä 2 (kuva 5, kohta 2). Eristystesti aktivoidaan painamalla plus -mittajohtimen varressa olevaa painiketta tai mittalaitteen ”TEST” -näppäintä. Painiketta/näppäintä tulee painaa kertaluontoisesti, minkä jälkeen mittaus aloitetaan ja lopetetaan automaattisesti minuutin kuluttua. Mittaus voidaan myös keskeyttää painamalla painiketta/näppäintä testin aikana.

Mittauksen aikana mittalaitteen digitaali- ja analoginäytöllä näytetään sen hetkinen eristysvastusarvo ja digitaaliapunäytöllä mittausjännite. Apunäytön näyttämää voidaan vaihtaa toimintonäppäimen ▼ avulla (kuva 5, kohta 3), jolloin voidaan vaihtoehtoisesti seurata mittausjännitettä, jäljellä olevaa aikaa tai vuotovirtaa.

4.8.5 Polarisaatioindeksi testi PI

Mittausmenetelmä on vastaava kuin edellä mainittu DAR-testi, mutta mittalaitteen automaattisesti ottamat eristysvastus tulokset otetaan 60 sekunnin ja 600 sekunnin kohdalla ja näiden suhteesta tulkitaan vuotovirran käyttäytymistä mittauskohteessa. Polarisaatioindeksin laskemiseen käytetään kaavaa R_{600}/R_{60} . Mittaustuloksen tulkitsemisessa noudatetaan taulukossa 5 esiteltyjä arvoja. Mittalaite tallentaa eristysvastusarvot t1 ja t2, PI-arvon, mittausjännitteen sekä vuotovirran.

PI-eristystestin voi valita mittalaitteesta toimintonäppäimellä 2 (kuva 5, kohta 2). Eristystesti aktivoidaan painamalla plus-mittajohtimen varressa olevaa painiketta tai mittalaitteen "TEST" -näppäintä. Painiketta tai näppäintä tulee painaa kerran, minkä jälkeen mittaus aloitetaan ja lopetetaan automaattisesti kymmenen minuutin kuluttua. Mittaus voidaan myös keskeyttää painamalla painiketta tai näppäintä testin aikana.

Mittauksen aikana mittalaitteen digitaali- ja analoginäytöllä näytetään senhetkinen eristysvastusarvo ja digitaaliapunäytöllä mittausjännite. Apunäytön näyttämää voidaan vaihtaa toimintonäppäimen ▼ avulla (kuva 5, kohta 3), jolloin voidaan vaihtoehtoisesti seurata mittausjännitettä, jäljellä olevaa aikaa tai vuotovirtaa.

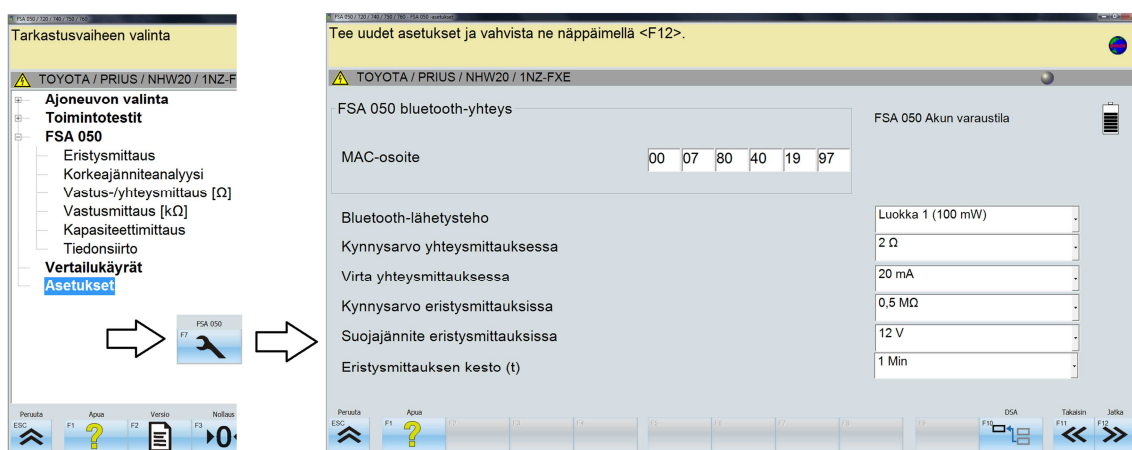
5 CompacSoft[plus]

CompacSoft[plus] -ohjelmisto on tarkoitettu käytettäväksi Bosch FSA 050, 500 ja 7XX laitteistojen kanssa, jolloin mittapäiden avulla tuloksia voidaan tarkkailla reaaliajassa tietokoneen ruudulta ja tallentaa esimerkiksi oskilloskoopin kuvaa analysointia varten. Tässä luvussa kuitenkin käsitellään vain Bosch FSA 050 -mittalaitteen kannalta olennaisia ominaisuuksia.

Sekä FSA- että STA -tilassa tehdyistä mittauksista tallentuvat protokollat, jotka luvussa 6 käsiteltävän ESI[tronic] 2.0 -ohjelmiston laatiman protokollan kanssa luovat kattavan selvityksen suoritetuista mittauksista ja tarkistuksista. Esimerkiksi huoltotoimenpiteen takuukäsittelyssä ne helpottavat todistamaan tehdyt toimenpiteet tai helpottavat mahdollisten myöhemmin ilmenevien vikatilanteiden tutkimista. Ohjelmistot toimivat erikseen, joten mittauksia suoritettaessa on ohjeistusta seurattava ESI[tronic] 2.0:n puolelta ja mittaukset CompacSoft[plus]:n puolelta. CompacSoft[plus] -ohjelmiston protokollien tulostamista ja tarkastelua käsitellään luvussa 5.2.

5.1 Ohjelmisto ja FSA -tila

Mittalaitteen asetuksia voidaan muuttaa ohjelmiston avulla "Asetukset"-valikon alta (kuva 7). Säädetävissä olevat asetukset sisältävät mittalaitteen MAC-osoite, Bluetooth- lähetysteho, kynnysarvo yhteysmittauksessa, virta yhteysmittauksessa, kynnysarvo eristysmittauksissa, suojajännite eristysmittauksissa sekä eristysmittauksen kesto (t). Mittausmenetelmistä eristystesti on ainoa, jota voidaan hallita itse mittalaitteesta aktivoinnin ja lopettamisen osalta. Muut mittausmenetelmät ohjataan "Mittaus /STOP"-näppäimellä ruudulta tai F3-painikkeen avulla näppäimistöä, joten mittapäät on tarpeen kiinnittää kohteeseen siten, että ne pysyvät paikallaan käyttäjän operoimessa tietokonetta.



Kuva 7. CompacSoft[plus] - FSA 050-asetukset

FSA 050 -mittalaitteen kannalta ohjelmisto on hyvin selkeä ja yksinkertainen. Ohjelmistosta löytyvät mittausmenetelmät luetteloituna oman valikon alta alla olevan kuvan mukaisesti.

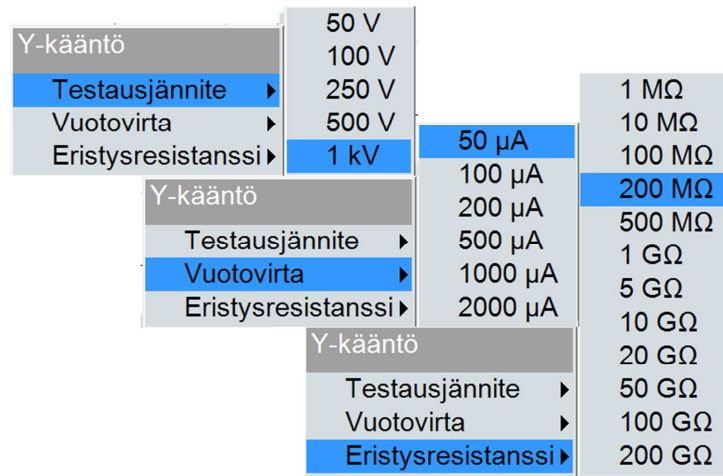


Kuva 8. CompacSoft[plus] - FSA 050-valikko

Ohjelmisto huomauttaa käyttäjää korkean jännitteen vaaroista sekä vaadittavista toimenpiteistä pääpiirteittäin sekä edellytetystä ammattitaidosta, ennen kuin mittaukset voidaan aloittaa, mikäli sähkö- tai hybridi ajoneuvo on valittu.

5.1.1 Toimenpiteet ennen mittausta

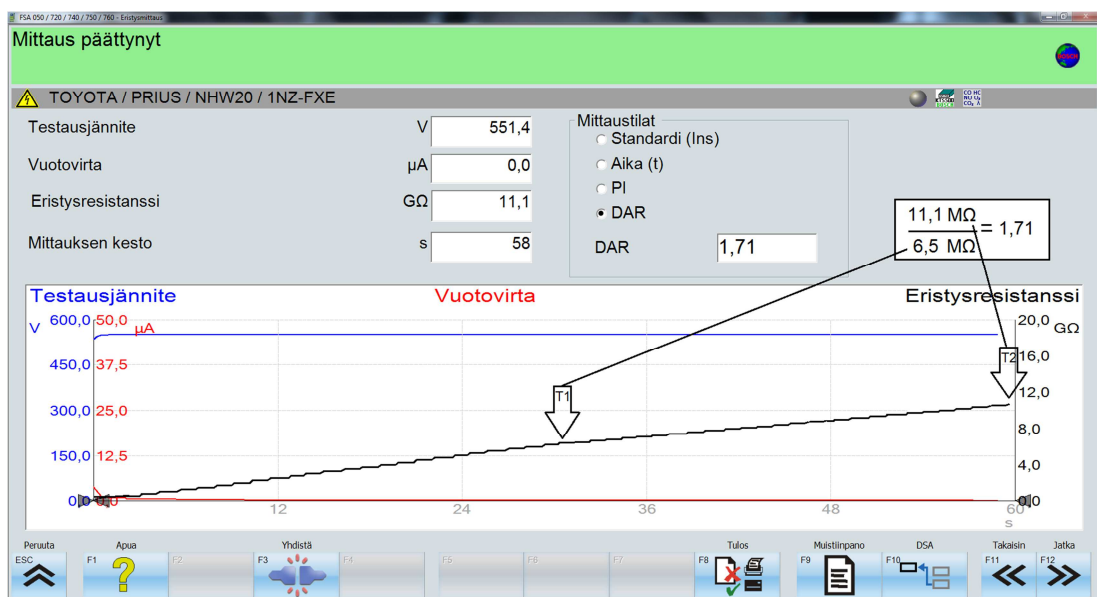
FSA 050 -mittalaitteen tulee olla FSA-tilassa, jotta tiedonsiirto Bluetoothin avulla on mahdollista. Jotta mittaustulokset saadaan mahdollisimman selvästi näkyville, on X- ja Y- akselin arvoasteikkoja muutettava mittauskohteen mukaisesti. Y-akselilla testausjännitteen asteikko mukautuu mittalaitteen valintakytkimen asennon mukaan yhdistyksen yhteydessä ja tarvittavat muutokset muille akseleille voidaan tehdä yhdistämisen jälkeen. Vuotovirran asteikko on oletusarvoltaan 0 – 50 μA ja eristysresistanssi 0 – 200 M Ω . X-akselin asteikko on oletuksena 0 – 60 sekuntia. Oikean asteikon valitsemiseksi on usein tarpeen suorittaa testimittaus, jonka avulla kyetään päättämään maksimiarvot kullekin mitattavalle yksikölle, jotta käyrät piirtyvät selkeästi taulukkoon. X-akselilla vaihtoehtoina ovat 30 sekuntia, 1 min, 10 min ja 30 min. Mittausajan ylittäessä X-akselin ennalta määrätyn arvon jatkaa se automaattisesti eteenpäin, kunnes mittaus lopetetaan, kuitenkin hävittäen asteikolta ulos jäävän graafin. Y-akselin asteikot ovat valittavissa seuraavalla sivulla olevan kuvan mukaisesti.



Kuva 9. CompacSoft[plus] - FSA050 Y-akselin arvot

5.1.2 Eristysmittaus

Eristysvastusta mitatessa voidaan ohjelmiston valikon avulla valita haluttu mittausmenetelmä INS, t, PI tai DAR. Ohjelmiston valinta ohjaa mittalaitteen automaattisesti valitun mittausmenetelmän mukaiseksi. Mittausmenetelmien suorittamisperiaatteet poikkeavat STA-tilassa tehtävistä toimenpiteistä siten, että eristysvastustestiä lukuunottamatta mittauksien ohjaus suoritetaan ohjelmiston kautta. Mittauksen aikana tallennetaan testausjännite, vuotovirta, eristysvastus, mittauksen kesto sekä mittauksen mahdollinen indeksiluku (DAR ja PI). Alla olevassa kuvassa on DAR-mittauksen tulos, johon on havainnollistettu t1 ja t2, eli 30 ja 60 sekunnin aikana otetut mittaukset, joiden perusteella DAR-arvo lasketaan.



Kuva 10. CompacSoft[plus]-Eristysmittaus (erinomainen eriste)

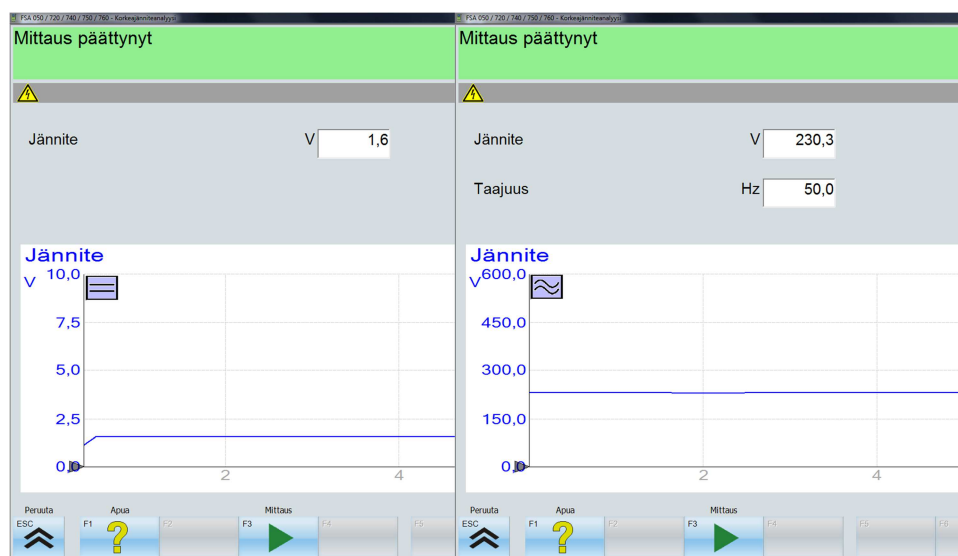
Eristysmittauksen tuottamien graafien avulla voidaan havaita mahdollisia läpilyöntejä ja heikkoja kohtia eristeissä vuotovirran ja eristysvastuksen vaihtelun perusteella, sillä mittauksen valmistumisen jälkeen näytettävä eristysvastusarvo ja DAR luku perustuvat 30 ja 60 sekunnin aikana otettuihin arvoihin.



Kuva 11. CompacSoft[plus]-Eristysmittaus (viallinen eriste)

5.1.3 Korkeajänniteanalyysi

Työskennellessä korkeajännitejärjestelmien kanssa on ennen muita toimenpiteitä tehtävä järjestelmä jännitteettömäksi ja se on dokumentoitava. CompacSoft[plus]-ohjelmiston avulla voidaan tarkastella ja tallentaa esimerkiksi järjestelmän päävastuksen toiminta, jonka tulee purkaa järjestelmän kapasitiivisiin komponentteihin jäävä varaus huoltoerottimen ollessa irroitettuna. Ennen kaikkea jänniteanalyysi näyttää toteen määrätyn odotusajan noudattamisen huoltoerottimen irroituksen jälkeen, jolloin järjestelmän tulee olla täysin jännitteetön. Jänniteanalyysi mittaa DC- ja AC-jännitettä sekä tunnistaa AC-jännitteen taajuuden. Mittaus aktivoituu painettaessa "Mittaus"-painiketta ruudulla tai F3-näppäintä, lopetus vastaavasti samoista näppäimistä. Kuvassa 12 on esitelty vaihto- ja tasajännitteen mittaustulos.



Kuva 12. CompacSoft[plus]-Korkeajänniteanalyysi

5.1.4 Vastus-, yhteys- ja kapasiteettimittaus

Vastusmittauksen avulla voidaan tarkastaa esimerkiksi moottorin jäähdytysnesteen lämpötilantunnistimen toiminta, joka yleisesti toimintaperiaatteeltaan on lämpötilan mukaan vastusarvoaan muuttava tunnistin. Moottorinohjausyksikkö lukee anturilta tulevaa vastusarvoa ja tulkitsee sen perusteella moottorin lämpötilan ja suorittaa tarvittavia muutoksia esimerkiksi polttoaineen syöttöön ja sytytykseen liittyen. Altistamalla tunnistin eri lämpötiloille, voidaan graafin avulla seurata vastuksen muuttuminen ja sen lineaarisuus. Viallisen tunnistimen vastusarvo vaihtelee radikaalisti eikä noudata minkäänasteista lineaarisuutta. Yhteysmittauksen avulla saadaan tarkistettua esimerkiksi sähkömoottorin staattorikäämien kunto mittaamalla vuorotellen kahden vaiheen väliltä ja vertaamalla näitä ohjearvoihin. Kapasiteettimittauksella voidaan tarkistaa järjestelmän kapasitiivisten osien purkautuminen tai varautuneisuus. Graafin avulla voidaan seurata purkautumisen käyttäytymistä. Mittaustuloksen tallentamiseksi on mittausta operoitava FSA 500/7XX laitteistosta tai tietokoneelta ”Mittaus/STOP”- tai F3-näppäimen avulla.

5.2 Tiedonsiirto ja STA-tilassa tehdyt mittaukset

Kuten luvuissa 4.4–4.8.4 mainittiin on myös itsenäisessä tilassa tehtyjen mittausten tarkasteleminen ja tulostaminen mahdollista CompacSoft[plus] -ohjelmiston kautta. Mittalaitteen kiertokytkimen tulee olla asennossa ”SND” (kuva 4, kohta 5), jolloin tiedonsiirtoyhteys muodostetaan Bluetoothin välityksellä FSA 500/7XX-laitteiston tai tietokoneen välille valitsemalla ”Tiedonsiirto” ohjelmiston valikosta (kuva 8). Mittaustuloksia voi tarkastella yksi kerrallaan ja ne voidaan tulostaa myös protokollana. Ohjelmisto listaa kaikki laitteen muistissa olevat mittaukset luetteloon, josta voidaan tarkastaa kunkin mittauksen tulokset kerralla. Kuvassa 13 on näkymä tiedonsiirtovalikossa.

Tulos-n:o	Testauslaji	Testausjännite	Vuotovirta	Eristysresistanssi	Mittauksen kesto	PI	DAR	Jännite	Taajuus	Vastusmittaus [kΩ]	Vastus [Ω]
10	Korkeajänniteanalyysi							0,0 V			
9	Korkeajänniteanalyysi							0,0 V			
8	Eristysmittaus	551,6 V	0,1 μA	5,7 GΩ	60 s		1,64				
7	Eristysmittaus	551,4 V	0,1 μA	6,7 GΩ	60 s		1,72				
6	Eristysmittaus	551,2 V	0,0 μA	11,2 GΩ	600 s	2,74					
5	Eristysmittaus	551,6 V	0,1 μA	1,4 GΩ	10 s						
4	Korkeajänniteanalyysi							229,4 V	50,0 Hz		
3	Vastus-/yhteydsmittaus [Ω]										0,1 Ω
2	Vastus-/yhteydsmittaus [Ω]										12,7 Ω
1	Vastusmittaus [kΩ]									270,2 kΩ	

Kuva 13. CompacSoft[plus]-FSA050 STA -tilan mittausten tuloslue-
telo

Eristysmittaus	Tulos-n:o		104
	Testausjännite	V	549,5
	Vuotovirta	μA	0,1
	Eristysresistanssi	MΩ	6,3
	Mittauksen kesto	s	60
	PI		
	DAR		1,69

Kuva 14. CompacSoft[plus]-STA-tilan mittaustuloksen sisältö

Mittaustuloksia saadaan myös yhdistettyä selkeän protokollan tulostamiseksi. Samalla mittauksella suoritettuja mittauksia voidaan valita tulostettavaksi protokolla dokumenttiin, jolloin kaikki suoritettut mittaukset voidaan tarkistaa samaiselta dokumentilta. Tulostettaessa dokumentti pdf-muotoon tai paperille voidaan valita halutut mittaukset, minkä jälkeen tulostetta voidaan tarkastella tietokoneen ruudulla ja voidaan tulostaa tai tallentaa. Samalla tulee lisätä työnaikainen sähkötyönjohtaja ja viitteellinen työmääräyksen numero sekä asiakkaan että ajoneuvon tiedot. Kuvassa 15 näkyy esimerkkinä valittavat mittaukset sekä kentät, joihin edellä mainitut tiedot voidaan syöttää.

⚠ TOYOTA / PRIUS / NHW20 / 1NZ-FXE

Käytettävissä olevat tarkastusvaiheet


☒ Eristysmittaus
☐ Korkeajänniteanalyysi

Tarkastajan nimi
 Työmääräys
 Km-lukema
 Rek.numero
 Nimi
 Katuosoite
 Paikkakunta
 Maa
 Puh.1 / Puh.2
 Fax
 S-posti

Peruuta ESC F1 F2 F3 Kaikki F4 Ei mitään F5 F6 F7 F8 Näyttö F9 F10

Kuva 15. CompacSoft[plus]-Tarkastusvaiheet ja tiedot tulostettaessa

Protokollan laatiminen on olennainen osa työskenneltäessä korkeajännitejärjestelmien kanssa. Työtä helpottaa huomattavasti se, että mittaukset ja tiedot voidaan syöttää, tallentaa tai tulostaa yhdestä paikasta, mikä lisää työtehokkuutta ja selkeyttä. Kuvassa 16 on pdf-muotoon tallennettu protokolla, joka esittää DAR-eristysvastustestin tulokset. FSA-tilassa suoritettujen mittausten protokolla on malliltaan sama, lisänä kuitenkin graafit eriteltynä testausjännitteeksi, vuotovirraksi ja eristysresistanssiksi.

Tuloste		 BOSCH		
Tiedonsiirto				
4.90 04.12.2012 (TOY_FIN_20120404_0000 TOY_B_987)				
Tilaus	Päiväys			
Asiakas	Korjaamo			
Puhelin	Puhelin			
Fax	Fax			
Sähköposti	Sähköposti			
Ajoneuvo	TOYOTA			
Merkki	PRIUS			
Malli	1NZ-FXE			
Moottorikoodi	Bensiini / sähköhybridi / 4 Sylinteri / EFS ja nokka-aks.anturi			
Valm.koodi2	5013			
Valm.koodi3	ACI			
Rekisterinumero				
Alustanumero				
Mittarilukema				
Vaihe: Tiedonsiirto				
FSA 050 Tiedonsiirto				
Eristysmittaus				
Mittaustulokset	yksikkö	Min.	Max.	Mitattu
Tulos-n:o		----	----	101
Testausjännite	V	----	----	551.6
Vuotovirta	µA	----	----	0.1
Eristysresistanssi	GΩ	----	----	5.7
Mittauksen kesto	s	----	----	60
DAR		----	----	1.64

Kuva 16. CompacSoft[plus]-Protokolla

Mittaustulokset on mahdollista poistaa mittalaitteen muistista kaikki kerrallaan. Yksittelen poistaminen onnistuu vain ja ainoastaan mittalaitteen oman poisto-ominaisuuden "DEL" avulla.

6 ESI[tronic] 2.0

Esitronic 2.0 yhdistää ohjelmistona diagnostiikan, ohjatun vianhaun, järjestelmäinformaation (muun muassa kytkentäkaaviot) sekä määräaikaishuolloissa suoritettavat työt ja ohjearvot työaikoiheen. Edeltäjänsä verrattuna ohjelmisto tarjoaa käytännön läheisemmän käyttöliittymän yhdistettyjen ominaisuuksien avulla. Aikaisemmassa ohjelmistoversiossa ohjainlaitediagnoosi ja ESI[tronic] olivat erilliset ohjelmat, kun taas 2.0 tarjoaa yhden ohjelmiston, joka sisältää kaiken samassa ja siirtyminen ohjelman osasta toiseen onnistuu välilehtien avulla. Esimerkiksi diagnoosin yhteydessä on mahdollista siirtyä vikakoodista suoraan ohjattuun vianhakuun. Seuraavissa luvuissa käsitellään ohjelmiston eri osa-alueita ja niiden mahdollisia sovelluksia. Kaikki ohjelmistossa käytettävät ohjearvot ovat valmistajakohtaisia tai kyseiselle komponentille tiedotettavat maksimi-arvot. Korkeajännitejärjestelmiä koskevat ohjeistukset ja ohjearvot ovat myös valmistajakohtaisia.

6.1 Diagnoosi

"Järjestelmänäkymä" mahdollistaa koko ajoneuvon diagnostiikkapiiriin kuuluvien ohjainlaitteiden vikailmoitusten tarkastelemisen kerralla. Järjestelmähaun avulla tulostetaan luettelo, jossa vikojen määrä on esitettyä kyseisen ohjainlaitteen perässä ja haluttaessa voidaan siirtyä suoraan ohjainlaitteen tarkempaan diagnoosiin tai vaihtoehtoisesti "Virhetiedot"- tai F5-näppäimen avulla, voidaan vikakoodit näyttää samaisessa luettelossa selityksineen. Tämä edes auttaa hahmottamaan vian laajuuden, sen sijaan että ohjainlaitteet jouduttaisiin yksi kerrallaan tarkistamaan vikakoodien varalta, joka on ajallisesti hyvin epäkäytännöllistä rajallisen tiedonsiirtonopeuden vuoksi. Ilmenneet vikakoodit saadaan tallennettua halutessa protokollaan, johon tallentuu myös samalla diagnosointi kerralla suoritettavat muutkin diagnoosilaitteen avulla tehtävät järjestelmätarkastukset. Kuvassa 17 on havainnollistettu järjestelmänäkymä ja virhetietojen tarkasteleminen. Diagnoosin voi suorittaa myös perinteisesti valitsemalla "Korjaus"-välilehdeltä järjestelmäryhmä ja hakea haluttua ohjainlaitetta kerrallaan. Yhteyden muodostuttua näytetään ohjainlaitteen perässä mahdollisten vikakoodien määrä, jonka jälkeen voidaan siirtyä diagnoosin tarkempaan vaiheeseen, tarkastusvaiheisiin. Tarkastusvaiheista löytyvät ohjainlaitteen tunnistus, vikamuistin tulostus, vikamuistin tyhjennys, mitatut arvot, säädintesti sekä mahdollisesti erityistoiminnot.

Siirryttäessä ohjainlaitteen tarkempaan diagnoosiin ja tarkastusvaiheista löytyvään vikamuistin tulostukseen voidaan todeta onko kyseessä satunnainen vai pysyvä vika. Vian analysoimiseksi on ESI[tronic] 2.0:ssa on säädintestin ja mitattavien arvojen lisäksi mahdollisuus siirtyä suoraan ohjattuun vianhakuun "Ohjeet"- tai F8-näppäimen avulla. Ohjattu vianhaku johtaa "Vianetsintä"-välilehden alle, joka opastaa työturvallisuus huomioiden kyseisen vikakoodin aiheuttavien komponenttien testaamiseen ja mittaamiseen. Kuvassa 17 on esiteltynä järjestelmänäkymä.

The screenshot displays the ESI[tronic] 2.0 software interface for a Toyota Prius W20. The interface is divided into two main sections: the left pane shows the 'Järjestelmänäkymä' (System Overview) and the right pane shows the 'Virhetiedot' (Fault Codes).

System Overview (Left Pane):

System	Status
moottorinohjaus	0
Hybridiohjaus	1
Start/stop -ohjaus	0
Käynnistyksen ohjaus	1
Start/Stop-Automat. 1.0	0
ABS	1
Airbag	0
Alusta/ohjaus	0
Keskuselektronikka	0
Keskuselektronikka, taka	0
Pysäköintiapu	0
Pysäköintiapu	0
Pysäköintiapu	0
Ajoneuvus-/etäisyysäättö	1
Ajoneuvus-/etäisyysäättö	1
Lämmitys/ilmastointi	0
Vaihteiston ohjaus	0
Vaihteiston ohjaus	0
Vaihteiston ohjaus	0

Fault Codes (Right Pane):

Hybridiohjaus

- U0293 CAN-kommunik. hybridivoimansiirron ohjainlaitteen kanssa
- Ei kommunikaatiota

Start/stop -ohjaus

- Käynnistyksen ohjaus
- U0293 Tuntematon vika

ABS

- U0293 hybridijärjestelmä
- Tiedonsiirtovirhe

Ajoneuvus-/etäisyysäättö

- U0293 Tuntematon vika

Vaihteiston ohjaus

- sähkövaihteenvaihtamoduuli
- U0293 Tuntematon vika

Nelivetoelektronikka

- Nelivetoelektronikka
- U0293 CAN-kommunik. hybridivoimansiirron ohjainlaitteen kanssa
- Viallinen

Elektr. energialajärjestelmä

- Hybridin akkujärjestelmä
- P0560 Akku-toimintajännite
- Condition
- P0A1F akkujen ohjainlaite
- Tunnistamaton vikalaaji

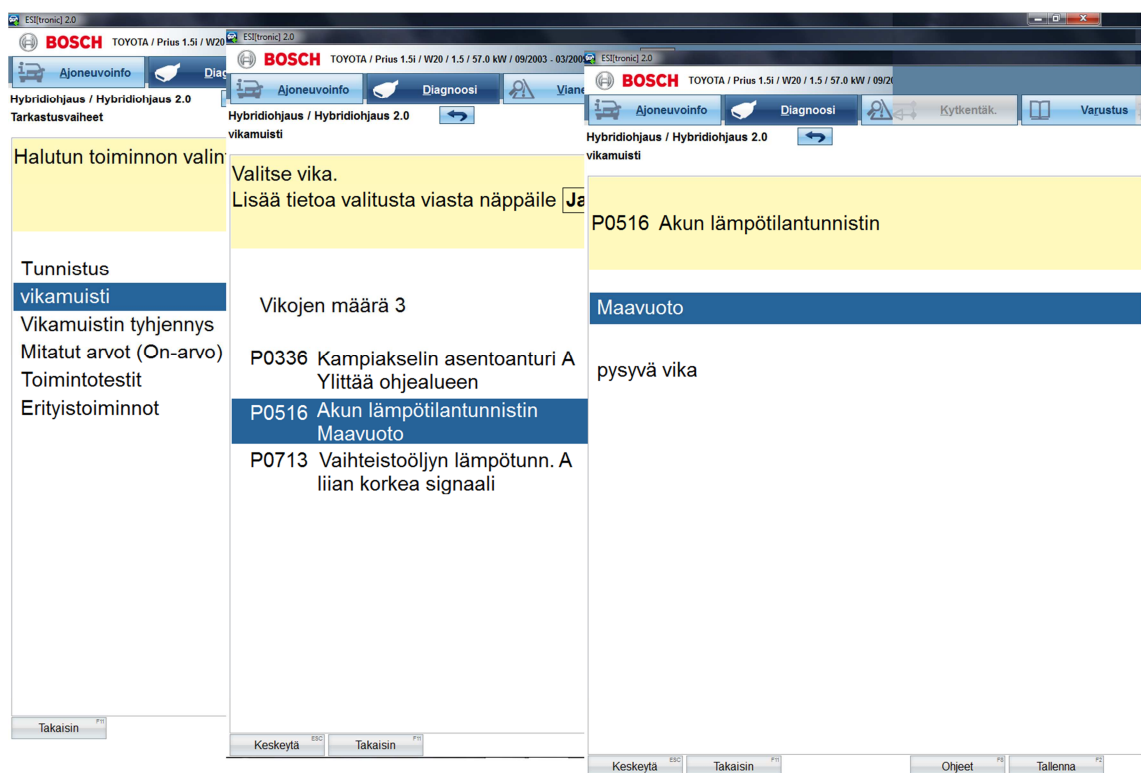
Kuva 17. ESI[tronic] 2.0 - Järjestelmänäkymä sekä virhetiedot

Diagnoosi-osio on hyvin olennainen osa sähkö- ja hybridi-ajoneuvojen huolloissa, sillä ajoneuvojen sisäinen eristysvastuksen valvontajärjestelmä seuraa korkeajännitekomponentteja suojaavien kansien tilaa ja sellaisen avatessaan voi aiheuttaa vikatilan järjestelmään ja siitä seurata korkeajännitepiirin tahaton erottautuminen. Diagnoosissa esimerkiksi Toyota Prius W20:n korkeajännitepiirin jännitteensaantia, on järjestelmän oltava jännitteellinen. ESI[tronic] 2.0 mahdollistaa tarkastusvaiheista löytyvän "Erityistoiminnon" avulla vaihtosuuntaajan eli invertterin asettamisen huoltotilaan, jolloin muistiin ei tallennu vikakoodeja, vaikka tehoelektronikkayksikön kansi avattaisiin järjestelmän ollessa jännitteellinen.

Ennen muita suoritettavia huoltotoimenpiteitä on tärkeää tarkistaa järjestelmä vikakoodien varalta, niin oman turvallisuuden kuin mahdollisten huollon jälkeisten ongelmatapauksien selvittämisen vuoksi. Järjestelmän ilmoittaessa vikaa liittyen korkeajännitepuoleen on vika korjattava ensitilassa ennen muita toimenpiteitä. Vikakoodien lukeminen ennen huollon aloittamista ja huollon jälkeen varmistaa sen, ettei huollon yhteydessä ilmene muita tai uusia vikoja.

6.1.1 Vikamuistin luku

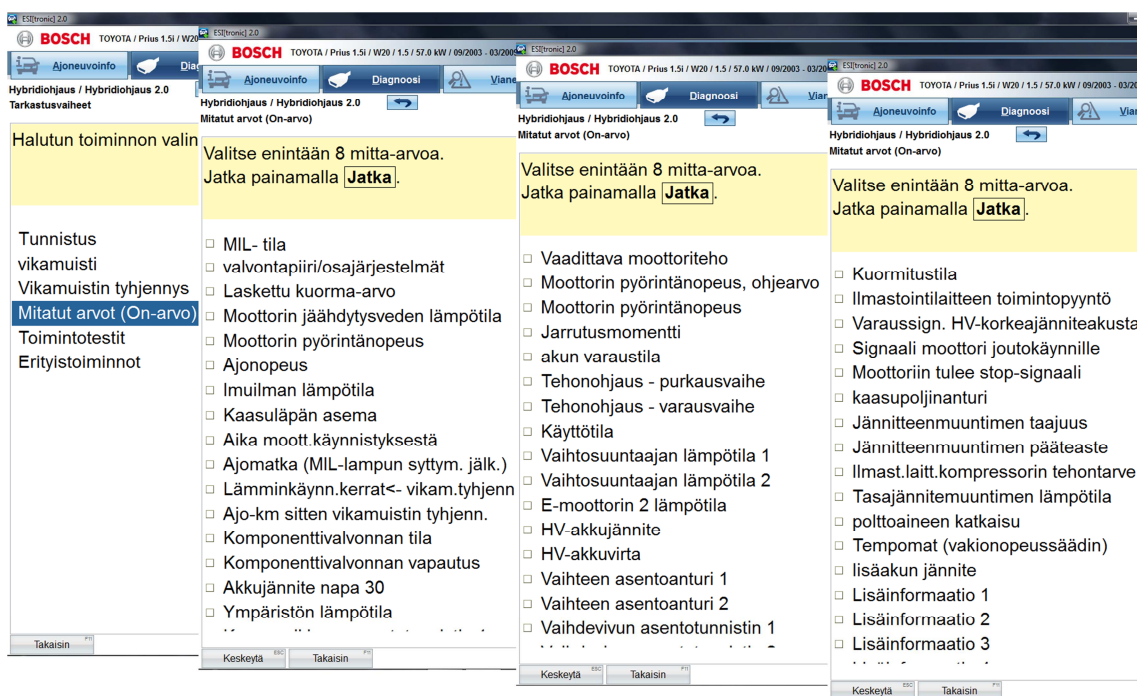
”Diagnoosi”-välilehden alta löytyvä vikamuistin luku tulostaa kyseisen ohjainlaitteen vikamuistissa olevat väliaikaiset ja pysyvät viat sekä selkeät selostukset vikakoodeille. Vikakoodista voidaan myös tarkistaa täsmennys vian laadusta, esimerkiksi onko kyseessä raja-arvon ylitys vai puutteellinen signaali (kuva 18).



Kuva 18. ESI[tronic] 2.0-Vikamuisti

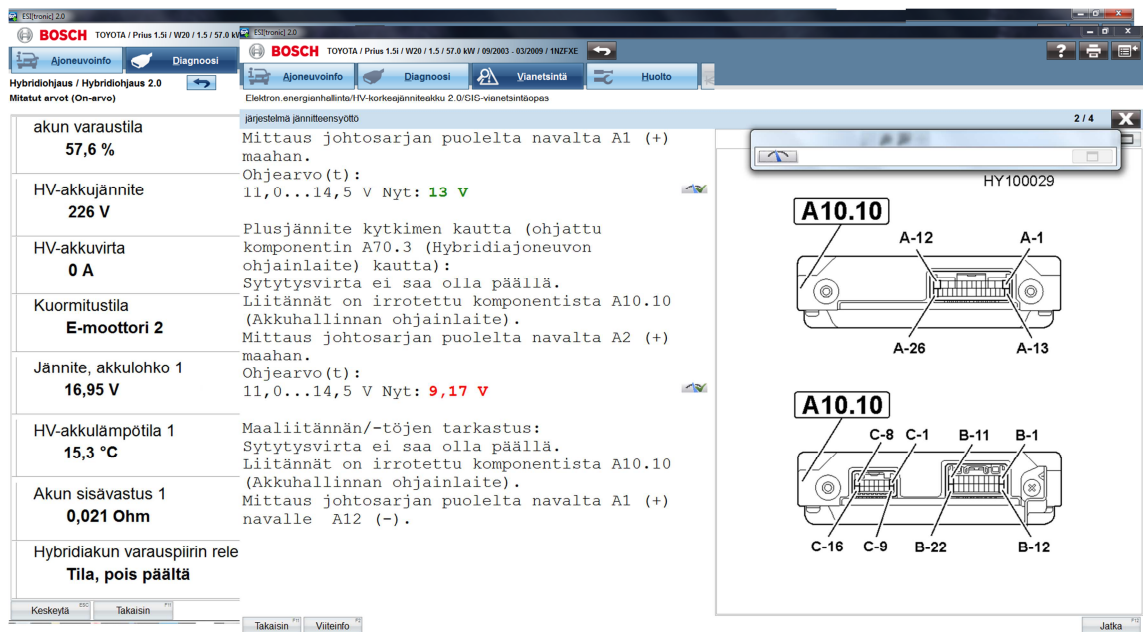
6.1.2 Mitatut arvot

Ominaisuuden avulla voidaan tarkastella edeltäjäänsä verrattuna kaksinkertaista määrää, eli enintään kahdeksaa mitta-arvoa, jotka KTS-moduuli kykenee tulkitsemaan OBD-pistokkeen kautta. Mitta-arvot tulostetaan reaaliajassa ruudulle, joten esimerkiksi potentiometrin säätövaraa kyetään seuraamaan yhdellä mittauksella. Mitta-arvot sisältävät ohjearvoja, kuten minimi- ja maksimiarvoja sekä komponenttien lähettämää tietoa esimerkiksi jännitetasoista, lämpötiloista, asennoista ja komponentin tilasta (päällä/pois). Toiminto helpottaa ja nopeuttaa järjestelmän tarkistamista vaikeapääsyisten komponenttien ollessa kohteena. On kuitenkin muistettava että mitta-arvot kulkevat väyläjohtimien kautta, joten ei ole koskaan pois suljettua että vika voisi olla myös tietoa välittävässä johtimessa itse komponentin sijasta. Kuvassa 19 on esitelty valittavissa olevia mitta-arvoja.

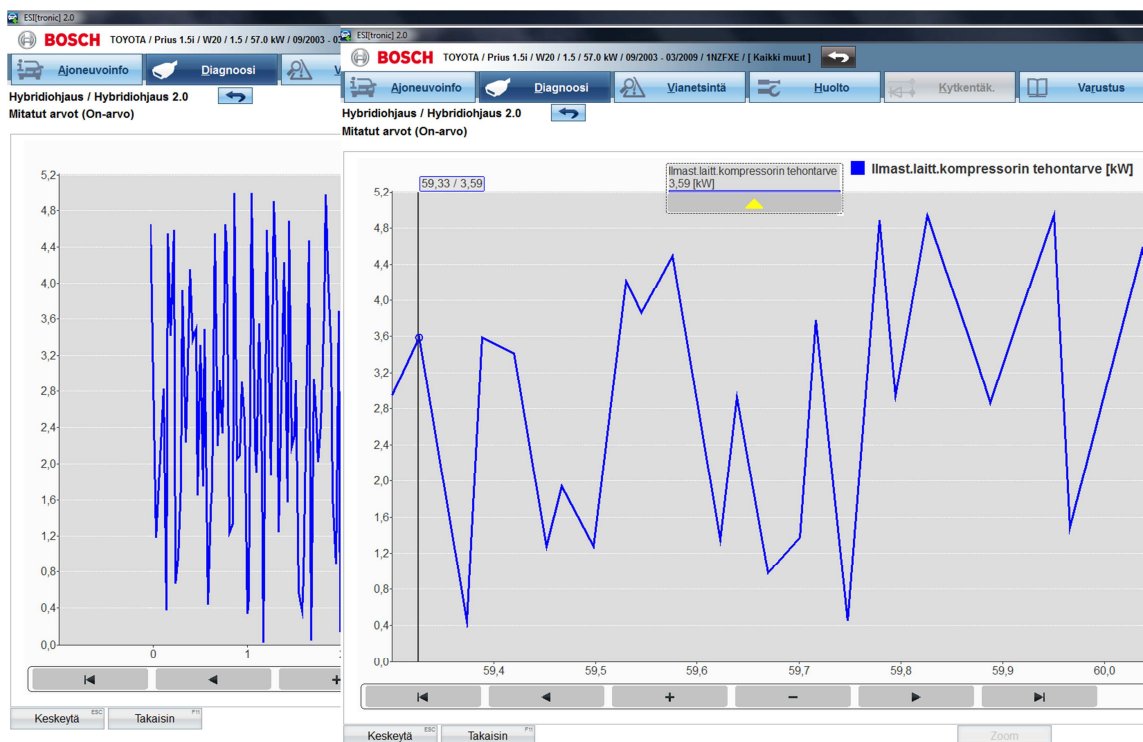


Kuva 19. ESI[tronic] 2.0 - Mitatut arvot

Kuvassa 20 nähdään valittujen kahdeksan arvon tuloste sekä CAS+-toiminnon mahdollistama mittaustuloksen vertaaminen ohjearvoon. Halutessa valittuja mitta-arvoja voidaan seurata myös oskilloskoopin avulla (kuva 21), jolloin tason vaihtelut saadaan näkyville graafiin. Graafin avulla voidaan tallentaa pidempijaksoinen mittaus ja tarkastella piirtyvää käyrää koko mittauksen ajalta. Valitsemalla "Aikakuvaaja" voidaan aktivoida oskilloskooppi valittujen mitta-arvojen graafien tarkastelemiseksi.



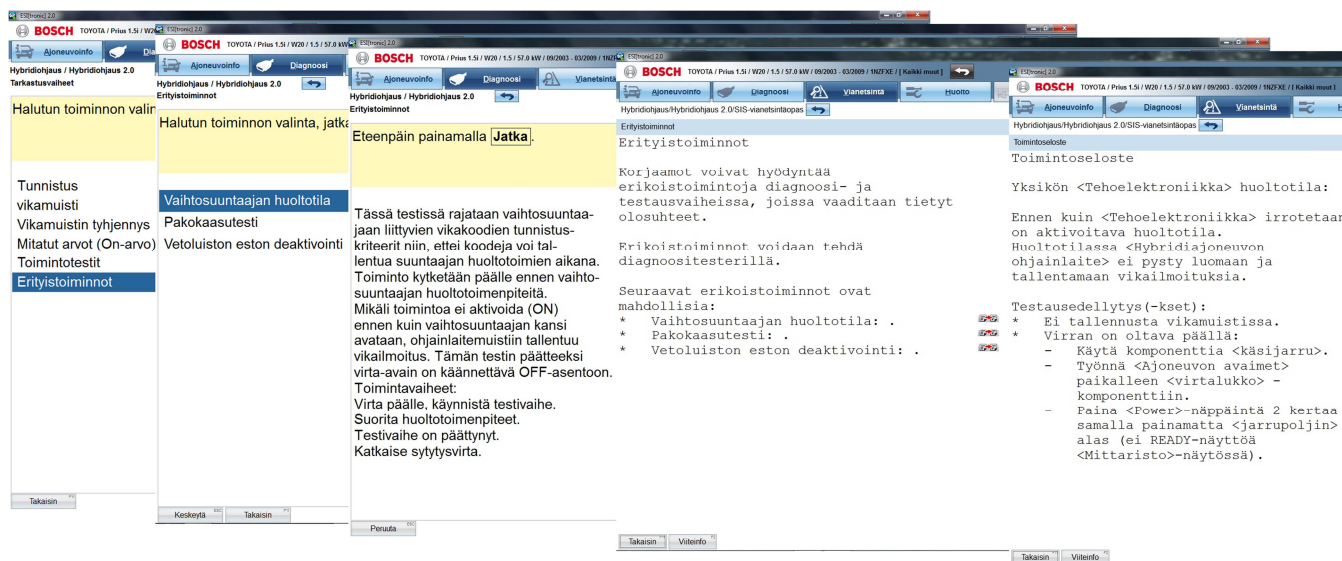
Kuva 20. ESI[tronic] 2.0 - Mitattujen arvojen tuloste ja CAS+ tulosten linkitys



Kuva 21. ESI[tronic] 2.0 - Mitattavien arvojen tarkasteleminen graafissa

6.1.3 Erityistoiminnot

Erityistoiminnot ovat olennainen osa sähkö- ja hybridiajoneuvojen huoltoja, sillä ajoneuvon sisäinen eristysvastuksen valvontajärjestelmä tulee kytkeä pois päältä, kun mittauksia tehdään järjestelmän ollessa jännitteellinen. Ohjelmisto opastaa tarvittavissa toimenpiteissä ja neuvoa mittauksissa, jotka tulee suorittaa huoltotoimenpiteiden jälkeen.



Kuva 22. ESI[tronic] 2.0 - Erityistoiminnot

6.2 Vianetsintä eli ohjattu vianhaku SIS/CAS+

”Vianetsintä” on omana osionaan hyvin laaja ja perusteellinen. SIS/CAS -välilehden alta löytyvät kaikki vianetsintään liittyvät ohjeet, jotta vianhaku olisi mahdollisimman tehokasta. Se sisältää muun muassa turvaohjeet kattaen ajoneuvonosturin käytöstä voimatyökalujen käyttöön ja aina korkeajännitejärjestelmien käsittelyyn. Korkeajännitejärjestelmiin liittyvät turvaohjeet opastavat käyttäjää huolehtimaan omasta turvallisuudestaan ja muistuttaa sähköön vaaroista. Mittausten edetessä ohjelma muistuttaa aina mahdollisesta vaarallisesta jännitteestä. Ohjelmisto sisältää ajoneuvomalli-kohtaisen kuvallisen opastuksen jännitteettömäksi tekemisessä ja jännitteettömyyden tarkistamiseen valmistajan edellyttämistä kohteista. Lain vaatima järjestelmän rakenteen tunteminen on otettu huomioon ”Järjestelmäselosteen” avulla, joka esittelee perusteellisesti kyseisen mallin toimintaperiaatteen, rakenteen ja komponenttien sekä

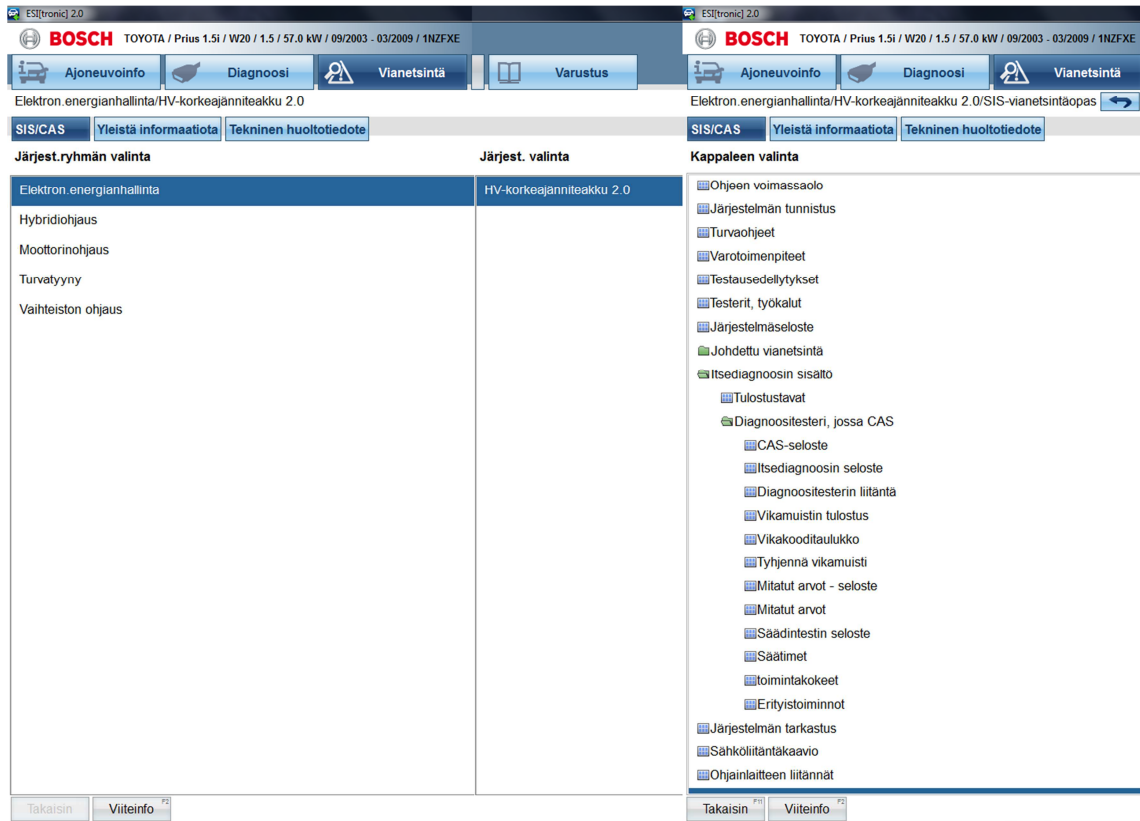
järjestelmien esittelyn. Kuvassa 23 on esitelty ”Vianetsintä” -välilehden alta löytyvät valikot ja toiminnot.

”Johdettu vianetsintä” sisältää niin sanottuja tyyppivikoja, joiden ratkaisemiseksi on olemassa selvät vianhakupuut, joita noudattamalla vian aiheuttajan tulisi löytyä. Kyseinen ominaisuus kattaa tosin vain osan järjestelmän komponenteista, joten asentajalta vaaditaan ”syy ja seuraus” -periaatteen soveltamiskykyä. Tässä auttaa ”Järjestelmän tarkastus” (kuva 23), jonka avulla voidaan tutkia järjestelmän komponentteja hyvinkin yksityiskohtaisesti. CAS+ (computer aided service) ominaisuus mahdollistaa KTS-mittamodulilla mitattavien arvojen siirtämisen suoraan ESI[tronic] 2.0:n kautta tehtävään vianhakuun, jolloin voidaan välittömästi verrata valmistajan ohjearvoja mitattuun arvoon, sekä siirtyä suoraan vikakoodista ohjattuun SIS (service information system) -vianhakuun. CAS+ tulkitsee myös vikakoodit selkeästi ja mahdollistaa informaation tallentamisen työprotokollaan, jonka tarkoituksena on toimia niin raportointi ominaisuutena asiakkaalle kuin tietokantana kyseiselle ajoneuvolle. Mittaus onnistuu joko suoraan diagnostiikkapistokkeen kautta tai vaihtoehtoisesti KTS-moduliin liitettävien mittapäiden avulla, riippuen mittauskohteesta. Myös ”Mitatut arvot” mahdollistavat järjestelmän komponenttien tarkastamisen. Kattavuudeltaan se tarjoaa lähinnä tilan tarkastamisen periaatteella ”päällä/pois” tai muita vaihtoehtoisia tiloja, kuten esimerkiksi sähköisen vaihteenvälitsin vivun asennon tarkistaminen ohjainlaitteelta.

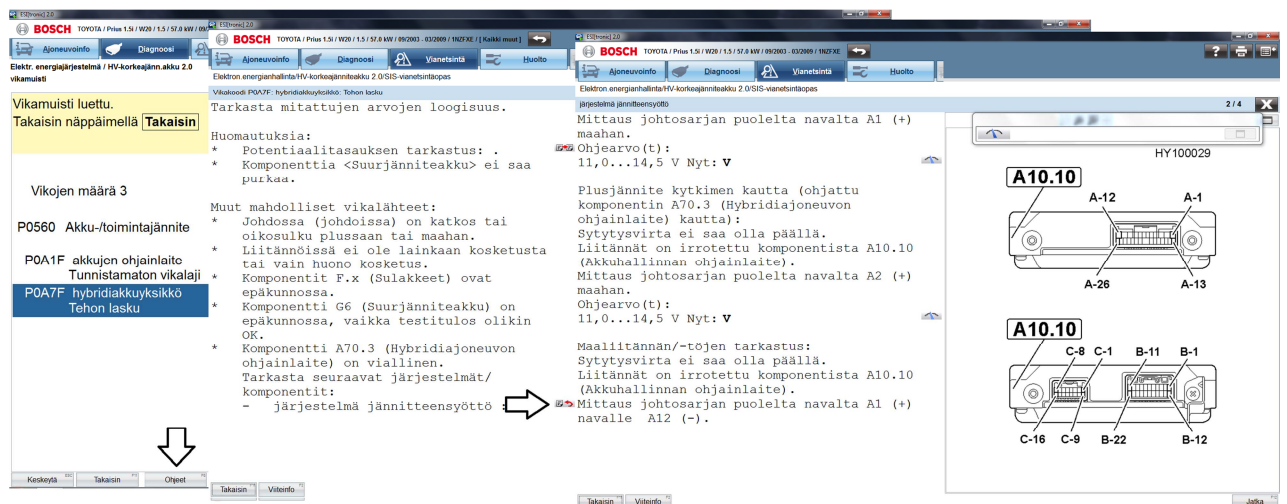
CAS+ on tehokas ja käytännöllinen menetelmä vikaa hakiessa. Kun vikakoodit on luettu ohjainlaitteen muistista, voidaan siirtyä ohjattuun vianhakuun (kuva 24). Vianhaussa on kuvaus mahdollisista oireista ja selvitys komponenteista, joista kyseinen vika voi aiheutua. Yksitellen vianhakupuuta pitkin edetessä opastetaan paikallistamaan mitattavat komponentit, tarkistamaan niiden kunto ja toiminta ohjearvoihin verraten. Viallisen komponentin paikallistamisen jälkeen voidaan siirtyä suoraan korjausohjeisiin.

Sen lisäksi että ohjatun vianhaun kuvallinen opastus näyttää mittauskohteen, voidaan halutessa ”Viiteinfo” tai F2:ta painamalla siirtyä sähköliitäntäkaavioon, josta nähdään ohjeen näyttämän liittimen tai ohjainlaitteen kytkennän lisäksi myös yhteydet muualle ajoneuvon sähköjärjestelmään. Ajoneuvomallista riippuen sähköliitäntäkaavio on löydettävissä ”Viiteinfo” alta tai vastaavasti yläpalkissa olevan ”Kytkenäkaavio” -välilehden alta. Vianhakua suorittaessa tulee muistaa myös itse miettiä onko kyseessä

vian aiheuttava komponentti vai komponentti joka on osana piiriä tai järjestelmää, joka ei toimi jonkin toisen viallisen komponentin vuoksi.



Kuva 23. ESI[tronic] 2.0 - SIS/CAS+ toiminnot



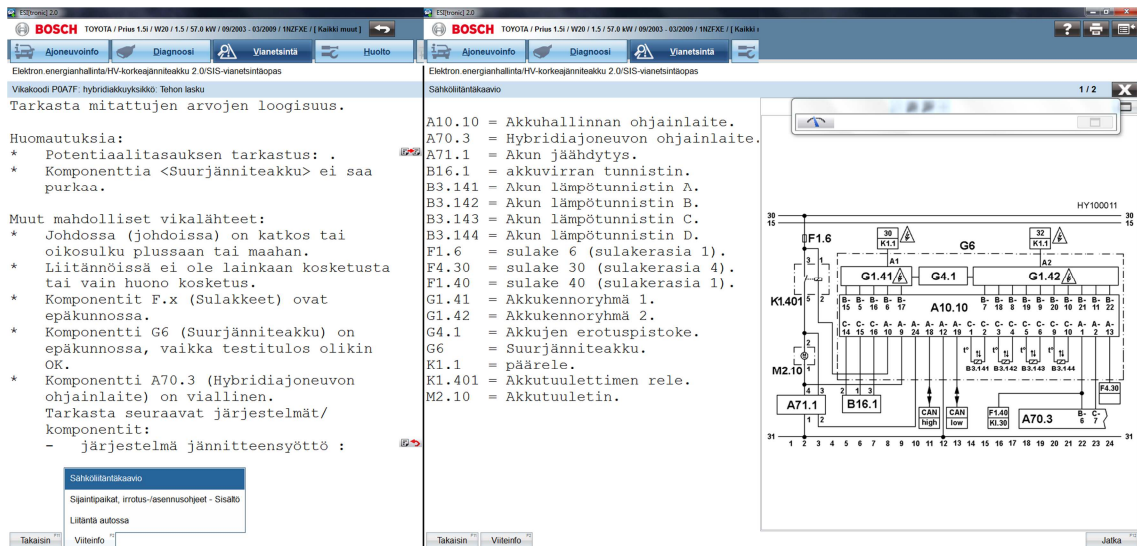
Kuva 24. ESI[tronic] 2.0 - Linkitys diagnoosin puolelta SIS/CAS+ ja vianhaku

6.3 Viiteinfo

”Vianetsintä” -välilehdestä löytyy ”Viiteinfo”- tai F2-näppäintä painamalla täydentävää tietoa liittyen ajoneuvon järjestelmään. Viiteinfo sisältää kolme linkitettyä tietokantaa, joita voidaan tarkastella kesken mittauksen esimerkiksi sähköliitântäkaaviota oikean mittauskohdan varmistamiseksi tai esimerkiksi komponenttien sijaintipaikan täsmentämiseksi kuvallisten ohjeiden avustuksella. Kun tutkittava lisätieto-osio on käsitelty, palautuu ohjelmisto kohtaan jolloin viiteinfo-painiketta painettiin ja mittauksista tai tarkastuksista voidaan jatkaa.

6.3.1 Sähköliitântäkaavio

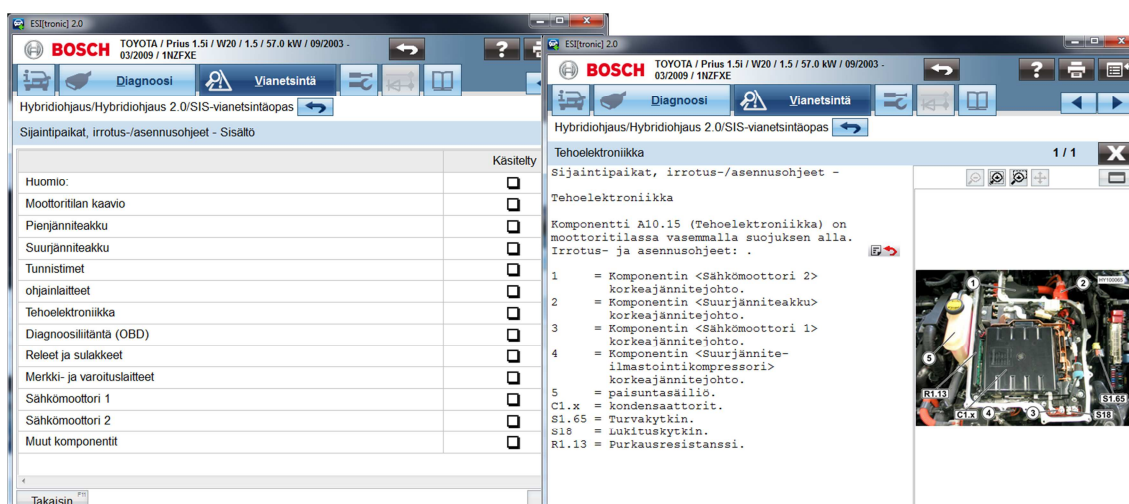
Tarkemman kytkentäkaavion tarpeessa saadaan näkyville kyseiseen komponenttiin liittyvä sähköliitântäkaavio. Sähköliitântäkaavion avulla voidaan tarkistaa mahdolliset muut vaikuttavat komponentit tai piirit ja selvittää tehtävän mittauksen aikana altistuvat komponentit ja järjestelmät, jotta tuloksissa osataan ottaa huomioon mahdollisesti vääristäviä tekijöitä.



Kuva 25. ESI[tronic] 2.0 - Viiteinfo - Sähköliitântäkaavio

6.3.2 Sijaintipaikat sekä irrotus- ja asennusohjeet

Sähkö- ja hybridi ajoneuvojen huoltojen yhteydessä järjestelmän rakenne on lain mukaan tunnettava ennen toimenpiteitä. Kuvallinen ohjeistus ja komponenttien nimeäminen kuvaan auttavat asentajaa esimerkiksi ahtaamassakin paikassa olevien komponenttien tunnistamisessa ja näin ollen edistävän turvallista työskentelyä. Kuvat ovat joko viitteellisiä havainnollistuksia tai valokuvia ajoneuvon mallista riippuen.



Kuva 26. ESI[tronic] 2.0-Viiteinfo - Sijaintipaikat sekä irrotus ja asennusohjeet

6.4 Työprotokolla

Saman mittauskerran aikana suoritetuista mittauksista ja tarkastuksista tallentuu protokollat suoritus ajankohtineen ja mittauksilokseineen. Protokollat voidaan esimerkiksi tallentaa pdf-muotoon huoltoliikkeen tietokantaan ja tulostaa paperiversio asiakkaalle tehdyistä toimenpiteistä ja osoittamaan järjestelmän olevan kunnossa. Liitteessä 2 on esimerkki työprotokolla, josta ilmenee vastuullisen asentajan tiedot, ajoneuvon tiedot sekä asiakkaan tiedot.

7 Yhteenveto ja päätelmät

Työn tarkoituksena oli luoda mekaanikon kannalta helposti lähestyttävissä oleva tutkimus sähkö- ja hybridiajoneuvojen yhteydessä työskentelemisen vaatimuksiin niin henkilö- kuin yritystasolla, sekä tuoda esille eristysvastusmittaus sekä siihen tarkoitettu Bosch FSA 050 -mittalaite ohjelmistoinen.

Suurimpana ongelmana korkeajännitetyön tekemisessä on säädökset ja niiden paljous sekä se, että säädökset on alun perin laadittu kiinteistösähköalalle ottamatta huomioon ajoneuvoja. Toimintaa aloittavana tai toiminta-alueen laajentavan on hankalaa saada selville yksinkertaisesti, mitä vaaditaan keneltäkin. Se, ettei Suomessa autoalalle ole vielä olemassa omia säädöksiä ja että niiden puute korvataan yleisillä säädöksillä, jotka eivät edes etäisesti vastaa ajoneuvokäytössä käytettäviä sovelluksia, aiheuttaa tahatonta säännöistä laistamista. Yrittäjillä ja asentajilla tulisi olla mahdollisuus selkeään tietokantaan, josta ilmenee asiallisesti, kuka saa tehdä ja mitä, sen sijaan että asia muotoillaan kattamaan usean eri alan edustajat ja taas hävitetään ajoneuvo-maailman konteksti.

Ratkaisuna ongelmaan tulisi kehittää yhtenäinen koulutusmenetelmä ja selkeä standardi, joka määrää koulutuksen sisällön niin teorian kuin käytännönkin kannalta. Sen sijaan että standardi olisi vain Suomen laajuinen, voitaisiin esimerkiksi EU-alueella keskittää kapasiteetti yhden pätevän koulutusmenetelmän luomiseen, jotta esimerkiksi Saksassa käyty koulutus ei olisi turha Suomessa eri standardien vuoksi.

Korkeajännitejärjestelmien kanssa toimiminen vaatii Tukesin urakoitsijarekisteriin ilmoittautumista. Ilmoittautuminen on pakollista, mikäli jännite on yli 120 VDC tai 50 VAC. Akkreditoitu sähköalan henkilöarviointiyritys Seti Oy vastaa henkilöstön arvioimisesta. Korjaamossa tulee olla henkilö, jolla on vähintään autoalan rajoitettu S3-pätevyys, jolloin hän toimii sähkötöiden johtajana yrityksessä. Kaikilla korkeajännitejärjestelmän omaavien ajoneuvojen kanssa työskentelevillä henkilöillä tulee olla SFS 6002 -standardin mukainen sähkötyöturvallisuuskoulutus suoritettuna. Lisäksi henkilöstö on ensiapukoulutettava. Henkilöt luokitellaan neljään eri kategoriaan: ammattihenkilö, opastettu henkilö eli henkilö jolla on koulutustausta muttei riittävää kokemusta, opastettu maallikko eli henkilö, joka on opastettu tekemään tietty toimenpide, jolla ei kuitenkaan ole koulutusta, ja maallikko, jolla ei ole koulutusta eikä perehdytystä.

Eristysvastusmittauksen suorittaminen edellyttää pätevää ohjeistusta. Esimerkiksi Volvo V60 hybrid -ajoneuvon korkeajännitejärjestelmää mitatessa tulee käyttää eri jännitteitä korkeajännitepiirin eri puolien mittaamisessa järjestelmän rakenteen vuoksi. Mittauskohteen määrittäminen ja siihen käsiksi pääseminen vaihtelevat mallikohtaisesti, ja virheellisen mittauksen suorittaminen saattaa vaurioittaa järjestelmän herkempiä komponentteja. Bosch ESI[tronic] 2.0 ja ohjatut toiminnot mahdollistavat turvallisen mittauksen. Lisäksi KTS-mittamoduulin PassThru-ominaisuuden avulla voidaan käyttää valmistajan merkkikohtaista ohjelmistoa korvausta vastaan, mikäli ajoneuvo vaatii diagnosoitesterillä ajoneuvon järjestelmän ohjaamisen, esimerkiksi kontaktorien aktivoimiseen.

CompacSoft[plus] ja FSA 050 mahdollistavat tehokkaan ja yksinkertaisen toimintatavan korjaamolle. Tulokset saadaan tallennettua pdf-tiedostoksi tai halutessa tulostettua paperiversio esimerkiksi asiakkaalle. Automaattisesti tallentuva työprotokolla poistaa muuten ylimääräiseksi jäävän dokumentointivaiheen tarpeen, ja samalla säilytetään selkeys yhdessä ESI[tronic] 2.0 -ohjelmiston tallentaman tai tulostaman työprotokollan kanssa.

Lähteet

- 1 Juhala, Matti, Suominen, Matti, Tammi, Kari & Lehtinen, Arto. 2005. Moottorialan sähköoppi. Helsinki: Autoalan koulutuskeskus.
- 2 Linja-aho, Vesa. 2012. Sähkö- ja hybridiajoneuvojen sähkötyöturvallisuus. Helsinki: Autoalan koulutuskeskus Oy.
- 3 UNECE. 2010. UNECE R 100. Luettu 18.01.2013.
- 4 Hietalahti, Lauri. 2011. Sähkökäyttö- ja hybriditekniikka ajoneuvo- ja työkonikäyttöön. Vantaa: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- 5 Ehsani, Mehرداد, Gao, Yimin, Emadi, Ali. 2010. Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles Fundamentals, Theory and Design. Second Edition. USA: Taylor & Francis Group.
- 6 Toyota Hybrid System - Course 071. Verkkodokumentti. Toyota. <http://www.autoshop101.com/forms/Hybrid01.pdf>. Luettu 23.2.2013.
- 7 Tiainen, Miia-Marjut. 2011. Sähkö- ja hybridiautojen voimansiirtojärjestelmien jännitetasot. Opinnäytetyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lappeenranta.
- 8 Stone Greg C., Boulter Edward A., Culbert Ian, Dhirani Hussein. 2004. Electrical insulation for rotating machines. USA: A John Wiley & Sons INC., Publication.
- 9 SFS-EN 61010-1. Suomen standardisoimisliitto SFS. 2011. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto
- 10 Chauvin, Arnoux. 2010. Insulation Resistance Testing Guide. PDF-dokumentti. luettu 15.12.2012.
- 11 Sähköturvallisuus. Verkkodokumentti. Tukes. <http://www.tukes.fi/sahkoturvallisuus100/sts100/valokaari.html>.
- 12 2012. Mittauslaiteluettelo 2012/2013. Verkkodokumentti. Fluke. http://yeint.com.ua/files/products/Fluke_luettelo_2012_2013.pdf. Luettu 20.12.2012.
- 13 SFS-EN-61010-1 liite K .Suomen standardisoimisliitto SFS. 2011. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 14 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 516/1996.


- 15 SFS 6002. Sähkötyöturvallisuus. 2005. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 16 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 517/1996.
- 17 Sähköturvallisuuslaki 410/1996.
- 18 Sähkökäyttöisten autojen huolto- ja korjaustoiminnan pätevyysvaatimukset. 2012. Verkkodokumentti. AKL. [http://www.akl.fi/palvelut/akl-sertifiointi_oy/sahkoautot_\(s3\)](http://www.akl.fi/palvelut/akl-sertifiointi_oy/sahkoautot_(s3)) . Luettu 18.1.2013.
- 19 Malmari, Frans. 2013. Kouluttaja, AEL, Helsinki. Keskustelu 14.3.2013.
- 20 Haavisto Jimi & Leinonen Mikko. 2013. Työnjohtaja ja korjaamopäällikko. Toyota Kaivoksela. Sähköpostikeskustelu sekä keskustelu 21.2.2013.
- 21 Öhman, Leila. Tukes. 2013. Sähköpostikeskustelu 15.4.2013.
- 22 Sähköautopätevyys 3. 2013. Verkkodokumentti. SETI Oy. <http://setifi.asiakkaat.sigmatic.fi/index.php?k=20805>. Luettu 24.4.2013.

CAT -ylijänniteluokitukset

Ylijänniteluokka	Lyhyesti	Esimerkkejä
CAT IV	Kolmivaiheiliitäntä sähköjakeluverkkoon kaikki ulkojohtimet	<ul style="list-style-type: none"> • Viittaa sähkön syöttötasoon eli paikkaan, missä pienjännite yhdistetään syöttöjännitteeseen. • Sähkömittarit, ensiöpiirin ylivoimansuojalaitteet. • Ulkopuolinen jakokeskustaulu ja päätaulu, yhteys pylvästä rakennukseen, mittarin ja taulun yhteys. • Ilmaväylä erillisrakennukseen, maanalainen yhteys kaivon pumppuun.
CAT III	Kolmivaihejakelu, mukaan lukien yksivaiheinen yleisvalaistus	<ul style="list-style-type: none"> • Kiinteät asennukset, kuten kojeistot ja monivaihemootorit. • Teollisuuslaitosten syöttöjohtot. • Syöttöjohtot ja lyhyet haaroituspiirit, jakotaulun laitteet. • Suurten rakennusten valaistusjärjestelmät. • Laitteiden pistorasiat, lyhyt yhteys päätauluun.
CAT II	Yksivaiheiset, pistokekytketyt kuormat	<ul style="list-style-type: none"> • Kodinkoneet, kannettavat laitteet ja muut kotitalouden tai muun vastaavan kuormat. • Pistorasiat ja pitkät haaroituspiirit. • Pistorasiat, joiden etäisyys CAT III:sta on yli 10 metriä tai CAT IV:sta on yli 20 metriä.
CAT I	Elektronikka	<ul style="list-style-type: none"> • Suojatut elektroniset laitteet. • Laitteet, jotka on kytketty (syöttö-) piireihin ja joissa transienttiylijännitteet on rajoitettu riittävän alhaisiksi. • Kaikki suurjännitteiset, matalaenergiset, käämiresistanssiltaan suuret syötöt, kuten kopiokoneen suurjänniteyksikkö.

FSA 050 -mittalaitteen tarkemmat ominaisuudet

8. Tekniset tiedot

 Kaikki arvot on annettu lämpötilassa +20 °C.

Eristystesti

 Arvot pätevät vain mukana toimitetuilla mittausjohtoilla ja kaukomittauspäällä.

 Kaikki alueet mittaavat alkaen 0,00 MΩ

Alue	Tarkkuus
1000 voltia	200 GΩ \pm 3% \pm 2 merkkiä \pm 0,2% per GΩ
500 voltia	100 GΩ \pm 3% \pm 2 merkkiä \pm 0,4% per GΩ
250 voltia	50 GΩ \pm 3% \pm 2 merkkiä \pm 0,8% per GΩ
100 voltia	20 GΩ \pm 3% \pm 2 merkkiä \pm 2,0% per GΩ
50 voltia	10 GΩ \pm 3% \pm 2 merkkiä \pm 4,0% per GΩ

Toiminto	Erittely
Analogialue	1 GΩ täysskaalalla
Oikosulkuvirta	2 mA + 0% - 50%
Liitinjännite	-0% + 20% + 1 V (li < 1 mA)
Testivirta kuormitettuna	1 mA minimi läpäisyarvona eristykseen eriteltynä BS7671, HD384 ja IEC364, EN 61152-2 mukaan, maksimi 2 mA
EN 61557 toiminta-alue	0,10 MΩ - 1,00 GΩ
Virtavuotoalue	10 μA - 2000 μA
Virtavuoto	10% \pm 3 merkkiä
Jännitenäyttö	3% \pm 3 merkkiä + 0.5% valitusta jännitealueesta
Polarisaatioindeksi (PI)	10 minuuttia / 1 minuutti suhde
Dielektrinen absorptiosuhde (DAR)	60 sekuntia / 30 sekuntia suhde

Yhteysmittaus

Toiminto	Erittely
EN 61557 toiminta-alue	0,01 Ω - 99,9 Ω (0 - 100 analogisella asteikolla)
Tarkkuus	\pm 2% \pm 2 merkkiä (0 - 100 Ω)
Jännite avoimella piirillä	5 V + 1 V
Testivirta	205 mA (\pm 5 mA) (0,01 Ω - 99,9 Ω) 20 mA (\pm 1 mA) (10,0 Ω - 99,9 Ω)
Kaukomittauspään nollausalue	tavallisesti 0.10 Ω
Mittausjohtojen vastuksen nollausalue	9,99 Ω saakka
Summeri	vaihteleva raja 1 Ω, 2 Ω, 5 Ω, 10 Ω, 20 Ω

Vastusmittaus

Toiminto	Erittely
EN 61557 toimintoalue	0,01 k Ω - 1000 k Ω (0 - 1 M Ω analogisella asteikolla)
Tarkkuus	+ 5% + 2 merkkiä
Jännite avoimella piirillä	5 V + 1 V
Oikosulkuvirta	20 μ A + 5 μ A

Jännitteen mittaus

- 0 - 600 V DC \pm 2% \pm 2 merkkiä
- 10 mV - 600 V TRMS siniaaltona (40 - 400 Hz) \pm 2% \pm 2 merkkiä
- 0 - 1000 V analogisella asteikolla
- Määrittämätön sisääntulotaso 0 - 10 mV (40 - 400 Hz)
- Ei-siniaalto-muotoiselle lisämääritteet:
 - + 3% + 2 merkkiä / 101 mV - 600 V TRMS ja
 - + 8% + 2 merkkiä / 10 mV - 100 mV TRMS

Perus-jännitemittari

- Toimii > 25 V vaihto- tai tasajännitteellä millä tahansa alueella
- Taajuus:
 - 40 - 450 Hz (40 Hz - 99,9 Hz) \pm 0,5% \pm 1 merkki (100 Hz - 450 Hz)

Kapasitanssimittaus

Toiminto	Erittely
Mitta-alue	100 pF - 10 μ F
Tarkkuus	+ 5,0% + 2 merkkiä

Mittaustulosten tallennus

Toiminto	Erittely
Kapasiteetti	> 1000 mittaustulosta
Tiedonsiirto	langaton Bluetooth
Bluetooth-luokka	I/II
Minimi kantavuus:	
Luokka 1:	30 m
Luokka 2:	10 m

Toimintajännite

Viisi 1,5 V alkaliparistoa, tyyppiä IEC LR6 (AA, MN1500, HP7, AM3 R6HP).

Paristojen kesto

2200 eristystestiä sykleissä 5 sekuntia päällä ja 55 sekuntia pois päältä, 100 V ja 1 M Ω .

Mitat

Toiminto	Erittely
Testilaite	220 x 92 x 50 mm (8,66 x 3,63 x 1,97 tuumaa)
Testilaite ja laukku	456 x 178 x 89 mm (18 x 7 x 3,5 tuumaa)

Paino

Toiminto	Erittely
FSA 050	800 g
FSA 050 + laukku	1.75 kg

Sulake

- Laitteessa saa käyttää yksinomaan keraamista sulaketta 500 mA (FF), 600 V, 6,3 x 32 mm korkealla lämpökapasiteetilla, vähintään HBC 50 KA. Lasisulakkeita ei saa käyttää.

Suojausluokka

- FSA 050 täyttää EN 61010- (2001) 600 V vaiheeseen ja maahan, kategorია IV:n vaatimukset
- Mukana toimitetut liitännäiset täyttävät EN 61010-1 (2001) vaatimukset ja ovat mittauskategoriaa 600 V CAT III / 1 kV CAT II.

Käyttö

- BS EN 61010-1 määrittelee mittauskategoriat I - IV suhteutettuna käytettyyn jännitteeseen ja sijaintipaikkaan sähköisissä asennuksissa. FSA 050 on suunniteltu käytettäväksi kategoriassa IV (ensisijainen syöttötaso) järjestelmissä, joissa jännite vaihteiden välillä tai maahan on 600 voltia.

Lämpötilavaikutus

- <0.1% / °C 1 GΩ saakka
- <0.1% / °C / GΩ yli 1 GΩ

Käyttöympäristö

Toiminto	Erittely
Käyttöalue	- 20 - +55 °C
Käyttöalueen ilmankosteus	95% rel. - 0 °C - +35 °C 70% RH + 35 - +55 °C
Varastointilämpötila	- 30 - +80 °C
Kalibrointilämpötila	+20 °C
Maksimikorkeus	2000 m
Pöly- ja vesisuojaus	IP54

ESI[tronic] 2.0 - työprotokolla

ESI[tronic]

ESI[tronic] Versio 6.2.550 27.12.2012 11:51

**BOSCH**

		Työmäär.nro	:
		Asiakas-nro	:
		Rekist.n:o	:
		Km-lukema	:
		1.rekister.	:
		Mekaanikko	:
Puh. (koti)	:	Puh.	:
Puh. (työ)	:	Faksi	:

TOYOTA, Prius [W20], Prius 1.5i, sähkö, 1.5, 09/2003 - 03/2009, Kaikki muut

Järjestelmäkaavio

Järjestelmäkaavio

1. Hybridiohjaus - Hybridiohjaus - SIS-vianetsintäopas 11:58

1. Toimintoseloste	Käsittely	11:59
2. Käyttötila	Käsittely	11:59

Hybridiohjaus 2.0

1. Ei yhteyttä 12:02

HV-korkeajänn. akku 2.0

1. Ei yhteyttä 12:05

3. Vaihtosuuntaajan lämpötila	Ohjearvo: -50...205 °C	12:18
1	Mitattu arvo: 15 °C	
4. Vaihtosuuntaajan lämpötila	Ohjearvo: -50...205 °C	12:18
1	Mitattu arvo: 15 °C	

2. Hybridiohjaus - Hybridiohjaus - SIS-vianetsintäopas 12:18

1. Toimintoseloste	Käsittely	12:20
2. Toimintoseloste	Käsittely	12:21
3. Tehonohjaus - purkausvaihe	Ohjearvo: 0...81600 W Mitattu arvo: 9920 W	12:22
4. Tehonohjaus - purkausvaihe	Käsittely	12:22
5. Tehonohjaus - varausvaihe	Ohjearvo: -40800...0 W Mitattu arvo: -10240 W	12:22
6. Tehonohjaus - varausvaihe	Käsittely	12:22
7. Käyttötila	Ohjearvo: 0...6 Mitattu arvo: 0	12:23
8. Käyttötila	Käsittely	12:23
9. Vaihtosuuntaajan lämpötila	Ohjearvo: -50...205 °C	12:23
1	Mitattu arvo: 15 °C	

10. Vaihutosuuntaajan lämpötila 1	Käsitelty	12:23
11. E-moottorin 2 lämpötila	Käsitelty	12:24
12. HV-akkujännite	Ohjearvo: 0...510 V Mitattu arvo: 226 V	12:24
13. HV-akkujännite	Ohjearvo: 150...350 V Mitattu arvo: 226 V	12:25
14. HV-akkujännite	Käsitelty	12:25
15. HV-akkuvirta	Ohjearvo: -256...254 A Mitattu arvo: 0 A	12:25
16. Toimintoseoste	Käsitelty	12:25
17. HV-akkuvirta	Käsitelty	12:25
18. akun ohjearvoa vast. jännite	Käsitelty	12:26
19. Kuormitusila	Ohjearvo: = Mitattu arvo: E-moottori 1	12:26
20. Kuormitusila	Käsitelty	12:27
21. Varaussign. HV- korkeajänniteakusta	Käsitelty	12:27
22. Jännitteenmuuntimen taajuus	Käsitelty	12:27
23. Jännitteenmuuntimen pääaste	Käsitelty	12:28
24. Ilmastilaittekompressorin tehontarve	Käsitelty	12:28
25. lisäakun jännite	Käsitelty	12:29
26.	Ohjearvo: = Mitattu arvo:	12:31
27.	Ohjearvo: = Mitattu arvo:	12:31
28.	Ohjearvo: = Mitattu arvo:	12:31
29. toimintakokeet	Käsitelty	12:32
30. Vikakoodit	Käsitelty	12:32

Hybridiohjaus 2.0

1. Mitatut arvot (On-arvo)	12:33
2. Toimintotestit	12:33
3. Erityistoiminnot	12:34

Aut. ilmastointil. 9.12.1

1. Mitatut arvot (On-arvo)	12:36
----------------------------	-------

Hybridiohjaus 2.0

1. Toimintotestit	12:38
2. Mitatut arvot (On-arvo)	12:38

31. Komponenttivalvonnan tila	Käsitelty	12:44
32. akun varaustila	Ohjearvo: 0...100 % Mitattu arvo: 57.6 %	12:44



3. Elektron. energianhallinta - HV-korkeajänniteakku - SIS-vianetsintäopas

12:49

1. Jännite, akkulohko 1	Ohjearvo: 0...100 V Mitattu arvo: 16.95 V	12:49
2. Akkupuhallin valmiustilassa	Käsitelty	12:50
3. Akun sisävastus 1	Ohjearvo: 0...0,255 Ohm Mitattu arvo: 0.021 Ohm	12:52

4. Hybridiohjaus - Hybridiohjaus - SIS-vianetsintäopas

13:00

1. Toimintoseoste	Käsitelty	13:02
-------------------	-----------	-------

Hybridiohjaus 2.0

1. Erityistoiminnot

13:04

Hybridiohjaus 2.0**Aut. ilmastointil. 9.12.1**

1. Tunnistus

13:18

2. vikamuisti

13:18

1. Lämmitys/ilmastointilaite - automaattinen ilmastointilaite 9.12.1 - SIS-

13:18

vianetsintäopas

1. Toimintoseoste	Käsitelty	13:20
2. Turvaohjeet	Käsitelty	13:24
3. Vikakoodi B1421: Suora auringonpaiste/valotunnistin, oikea puoli: Vikaa virtapiirissä	Käsitelty	13:27

2. Mitatut arvot (On-arvo)

13:27

3. Ei yhteyttä

13:27

4. Mitatut arvot (On-arvo)

13:28

1. Lämmitys/ilmastointilaite - automaattinen ilmastointilaite - SIS-

13:29

vianetsintäopas

1. Vikailmoitusten lukumäärä	Käsitelty	13:29
------------------------------	-----------	-------

2. Lämmitys/ilmastointilaite - automaattinen ilmastointilaite - SIS-

13:30

vianetsintäopas

Aut. ilmastointil. 9.12.1

1. vikamuisti

13:31

1. Lämmitys/ilmastointilaite - automaattinen ilmastointilaite 9.12.1 - SIS-

13:31

vianetsintäopas

1. Muut sijaintipaikat	Käsitelty	13:33
2. Säätimien sijaintipaikat	Käsitelty	13:33

3. Sijaintipaikka: Releet ja sulakkeet	Käsitelty	13:33
--	-----------	-------

1. säätimet

13:33

Moottorinohjaus TCCS 1

1. vikamuisti

13:37

2. vikamuisti

13:37

3. Mitatut arvot (On-arvo)

13:37

4. säätimet

13:37

5. Toimintotestit

13:38

6. Mukautukset / asetukset, säädöt

13:38

Hybridiohjaus 2.0

1. vikamuisti

13:39

Huomautuksia:

Päiväys

Allekirjoitus

